P. 364

V. V. MAJOVKO, P. V. MAKAROV

BIOLOGIA GENERAL

Versión española de

JOSE MARIA BRAVO FERNANDEZ - HERMOSA

Revisada y corregida por

RAFAEL DE BUEN

Doctor en Ciencias Naturales
Profesor de carrera de la Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO
Seminario de Filosofía
Armario 11 Estante 8
255-5
3

Universidad de Oviedo — Seminario de Filosofía

TRATADOS Y MANUALES
GRIJALBO

EDITORIAL GRIJALBO, S. A.
MÉXICO, D. F., 1964

BIOLOGIA GENERAL

Título de la obra en ruso:
OBSHAIA BIOLOGHIA

Esta versión al español ha sido hecha directamente de la segunda edición rusa en virtud de contrato firmado el 8 de septiembre de 1961 con Mezhdunarodnaja Kniga, Smolenskaya-Sennaya, Pl. 32/34, Moscú.

© 1964 por Editorial Grijalbo, S. A.
Avenida Granjas, 82, México, 16, D. F.

PRIMERA EDICION EN ESPAÑOL

Reservados todos los derechos. Este libro no puede ser reproducido, en todo o en parte, en forma alguna, sin permiso.

IMPRESO EN MEXICO
PRINTED IN MEXICO

INDICE DE MATERIAS

Universidad de Nuevo León — Seminario de Filosofía

PRÓLOGO A LA EDICIÓN EN ESPAÑOL XI
PREFACIO XIX
INTRODUCCIÓN:
Objeto de la Biología 1
Papel de la Biología en la enseñanza médica 7

Parte primera

PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS SERES VIVOS

CAPÍTULO I: EL METABOLISMO, PROPIEDAD FUNDAMENTAL DE LOS SERES VIVOS 13

Federico Engels y la naturaleza de la vida 13
Composición química de los organismos 16
El agua y las sales minerales 17
Combinaciones orgánicas 18
Propiedades de los coloides 20
Metabolismo 22
Fermentos 22
Metabolismo de los organismos autótrofos 23
Fotosíntesis 23
Quimiosíntesis 25
Metabolismo de los organismos heterótrofos 26
Oxidación biológica 27
Vitaminas 28
Circulación de las sustancias en la naturaleza 30
Origen de la vida en la Tierra 34
Teoría de la generación espontánea 35
Teoría del carácter eterno de la vida 37
Intentos de crear modelos de seres vivos 38
Teoría de A. I. Oparin 38
Importancia de los trabajos de síntesis de la materia orgánica 41
Conclusiones 42

CAPÍTULO II: FORMAS VIVAS CELULARES Y NO CELULARES 44

Historia del desarrollo de las teorías celulares 44
Formas de protoplasma carentes de estructura celular 47
Las células. Sus dimensiones y su forma 50
Estructura de la célula 51
Propiedades osmóticas de la célula 56
Penetración de las sustancias en la célula 58
Lesiones y muerte de la célula 58
Multiplicación celular 58
Características de la cariocinesis 60
Modificaciones que experimenta la célula en la cariocinesis 62

Causas de la división celular 63
Conclusiones 64

CAPÍTULO III: IRRITABILIDAD 66

Formas más simples de irritabilidad 67
Irritabilidad en los animales pluricelulares 71
Conclusiones 73

CAPÍTULO IV: REPRODUCCIÓN 74

Reproducción asexual de las plantas 74
Reproducción asexual de los animales 75
Importancia de la reproducción sexual 77
Fases de desarrollo del proceso sexual en los protozoarios 79
Reproducción sexual de los animales pluricelulares 81
Formación de las células sexuales 83
Espermatogénesis 84
Ovogénesis 84
Dispositivos que aseguran la recepción de los gametos 87
Fecundación 89
Partenogénesis 91
Partenogénesis artificial 91
Sucesión de las generaciones 92
Rasgos comunes y diferencias entre la reproducción sexual y la asexual ... 93
Conclusiones 94

CAPÍTULO V: DESARROLLO INDIVIDUAL DE LOS ORGANISMOS 96

Ley biogenética 96
Teoría de los estadios del desarrollo en las plantas 96
Idea de las fases en los trabajos de I. V. Michurin 96
Teoría de T. D. Lisenko sobre el desarrollo en estadios de las plantas ... 97
Desarrollo individual de los animales 102
Crecimiento y desarrollo 102
Desarrollo embrionario 104
Tipos de segmentación del huevo 105
Períodos citotípico y organotípico de desarrollo 110
Tipos de gastrulación 110
Diferenciación de las partes del embrión 112
Formación de la tercera hoja embrionaria 113
Envolturas embrionarias 114
Causas de las monstruosidades 115
Desarrollo posembrionario 116
Desarrollo posembrionario directo e indirecto 116
Estadios o fases en el desarrollo de los animales 118
Papel de las glándulas endocrinas en los procesos de desarrollo del organismo 119
Diferenciación del sexo y relación numérica de los sexos en la descendencia 123
Regeneración de las partes perdidas 126
Regeneración fisiológica y reparativa 126
Capacidad de regeneración de los órganos en los animales 127
Formas de regeneración 129
Marcha de la regeneración 130
El problema de la dirección de los procesos regenerativos 132
Injertos 132
Vida de los tejidos fuera del organismo 134

Senectud y muerte 134
Naturaleza de los cambios producidos por la senectud 135
Duración de la vida 136
El problema de la longevidad 138
Teorías sobre el envejecimiento 138
El problema del "rejuvenecimiento" 141
La muerte como una etapa del desarrollo individual 142
Conclusiones 144

CAPÍTULO VI: LA TEORÍA DE LA HERENCIA Y DE SU VARIABILIDAD 146

Qué es la herencia 148
Carácter conservador de la herencia 149
Herencia de los caracteres innatos y adquiridos 151
Herencia en los microorganismos de los caracteres adquiridos 152
Nuevas formaciones en el cruzamiento 160
Xenia y telegonía 161
La herencia con y sin competencia del elemento masculino 162
Métodos para evitar las consecuencias perjudiciales de la fecundación entre individuos de parentesco próximo 165
Cómo dirigir la herencia en el período de desarrollo individual 166
Teoría de I. V. Michurin acerca de la aclimatación de las plantas 166
Selección educativa planificada en la ganadería 167
Transformación de la naturaleza de las plantas anuales durante el estadio de desarrollo individual 168
Cómo dirigir la formación de caracteres en los híbridos 169
Leyes que rigen la formación de los caracteres en los híbridos 169
Elección de las parejas de progenitores para el cruzamiento según Michurin y dirección del desarrollo de los caracteres en los híbridos 170
Elección de las parejas de progenitores en las plantas anuales según el análisis de los estadios hecho por Lisenko 173
Métodos para superar la resistencia al cruzamiento en la hibridación lejana 175
Características de los híbridos resultantes del cruce entre formas lejanas 178
Hibridación vegetativa 179
Influencias recíprocas del injerto y el patrón 179
Método del mentor 180
Condiciones para la obtención de híbridos vegetativos 181
Naturaleza común de la hibridación sexual y vegetativa. Variabilidad de los organismos en nuevas condiciones 183
Conclusiones 185

Parte segunda

TIPOS DE LOS REINOS VEGETAL Y ANIMAL

CAPÍTULO VII: ALGUNOS DATOS DE ECOLOGÍA Y TAXONOMÍA 189

El organismo y el medio 189
Condiciones abióticas 189
El sueño invernal y la anabiosis 191
Condiciones bióticas 195
El organismo como medio ambiente 196
Unidades taxonómicas fundamentales 200

CAPÍTULO VIII: TIPOS DEL REINO VEGETAL 201

Plantas inferiores, Talofitas *(Thallophita)* 201
Tipo bacterias *(Bacteria)* 202

Algas 205
Tipo cianoficeas o algas azules *(Cyanophyta)* 205
Tipo cloroficeas o algas verdes *(Chlorophita)* 207
Tipo diatomáceas o algas siliceas *(Diatomeae)* 208
Tipo feoficeas o algas pardas *(Phaeophyta)* 209
Tipo rodoficeas, florideas o algas rojas *(Rhodophyta)* 211
Tipo hongos *(Fungi)* 213
Tipo líquenes *(Lichenes)* 219
Plantas superiores. Cormofitas *(Cormophita)* 220
Aparición de la vegetación terrestre 227
Tipo briofitas o muscineas *(Bryophyta)* 228
Tipo pteridofitas *(Pteridophyta)* 231
Tipo licopodíneas *(Licopsida)* 234
Tipo articuladas o equisetíneas *(Sphenopsida)* 235
Espermofitas *(Spermatophyta)* 235
Tipo gimnospermas 235
Tipo angiospermas 237

CAPÍTULO IX: TIPOS DEL REINO ANIMAL 247

Tipo I. Protozoos *(Protozoa)* 247
Subtipo I. Plasmodromos *(Plasmodroma)* 249
Clase 1ª Flagelados o mastigóforos *(Flagellata o Mastigophora)* 249
Clase 2ª Sarcodarios o rizópodos *(Sarcodaria o Rhizopoda)* 254
Clase 3ª Esporozoarios *(Sporozoa)* 259
Subtipo II. Cilióforos o infusorios *(Ciliophora)* 266
Clase 1ª Infusorios ciliados *(Ciliata)* 266
Clase 2ª Infusorios suctorios o tentaculíferos *(Suctoria)* 269
Metazoarios *(Metazoa)* 270
Origen de la pluralidad celular 270
Animales de simetría radial *(Radiata)* 272
Tipo II. Espongiarios *(Spongia)* 272
Tipo III. Celentéreos *(Coelenterata)* 275
Subtipo I. Cnidarios *(Cnidaria)* 275
Clase 1ª Hidrozoarios *(Hydrozoa)* 275
Clase 2ª Escifozoarios *(Scyphozoa)* 279
Clase 3ª Antozoarios o pólipos coralinos *(Actinozoa)* 280
Subtipo II. Acnidarios *(Acnidaria)* 281
Clase 1ª Tenóforos *(Ctenophora)* 281
Animales de simetría bilateral *(Bilateralia)* 283
Tipo IV. Platelmintos, gusanos planos a parenquimatosos *(Platelmintha)* ... 283
Clase 1ª Turbelarios o gusanos ciliados *(Turbellaria)* 285
Clase 2ª Trematodos *(Trematoda)* 285
Clase 3ª Cestodos *(Cestoidea)* 294
Tipo V. Nematelmintos, gusanos cilíndricos o de celoma primario *(Nemathelminthes)* 304
Tipo VI. Anélidos o gusanos anillados *(Annelides)* 315
Clase 1ª Poliquetos *(Polychaeta)* 315
Clase 2ª Oligoquetos *(Oligochaeta)* 318
Clase 3ª Hirudíneos o sanguijuelas *(Hirudinea)* 319
Tipo VII. Artrópodos *(Arthropoda)* 320
Subtipo I. Artrópodos de respiración branquial *(Branchiata)* 322
Clase Crustáceos *(Crustacea)* 322
Subtipo II. Artrópodos provistos de queliceros *(Chelicerata)* 326
Clase Arácnidos *(Arachnoidea)* 326
Subtipo III. Artrópodos de respiración traqueal *(Tracheata)* 334
Clase Insectos o Exápodos *(Insecta)* 334

Tipo VIII. Moluscos *(Mollusca)* 346
Tipo IX. Equinodermos *(Echinodermata)* 348
Tipo X. Cordados *(Chordata)* 350
Subtipo I. Hemicordados *(Hemichordata)* 352
Subtipo II. Tunicados o urocordados *(Tunicata* o *Urochordata)* 353
Subtipo III. Acranios *(Acrania)* 354
Subtipo IV. Vertebrados o craniotas *(Vertebrata* o *Craniata)* 357
Vertebrados anamniotas *(Anamnia)* 364
Clase 1ª Ciclóstomos *(Cyclostomata)* 364
Clase 2ª Peces *(Pisces)* 366
Clase 3ª Batracios o anfibios *(Amphibia)* 373
Vertebrados amniotas *(Amniota)* 383
Clase 4ª Reptiles *(Reptilia)* 383
Clase 5ª Aves *(Aves)* 389
Clase 6ª Mamiferos *(Mammalia)* 396
Algunos datos acerca de la distribución geográfica de los animales 406
Conclusiones 414

Parte tercera

TEORIA DE LA EVOLUCION DEL MUNDO ORGANICO

CAPÍTULO X: PERÍODO DE ACUMULACIÓN DE CONOCIMIENTOS ACERCA DE LOS ORGANISMOS 417

Ideas sobre el mundo orgánico en la Antigüedad 417
El Renacimiento 422
El sistema de los reinos vegetal y animal de Linneo 425
Los adversarios de Linneo. La escala de seres según los preformistas 427
Conceptos de Buffon 428
Desarrollo de la ciencia en Rusia hasta fines del siglo XVIII 429
Conceptos evolucionistas de M. V. Lomonósov 430
Nuevos avances de las ciencias naturales rusas en el siglo XVIII 434
Conclusiones 434

CAPÍTULO XI: DESARROLLO DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX 435

Teoría evolucionista de Lamarck 435
Pruebas de la mutabilidad de las especies 437
Teoría de la gradación 438
Teoría de las relaciones entre el organismo y el medio 439
Importancia de la teoría de Lamarck 441
Desarrollo de la Anatomía comparada, la Paleontología, la Zoología y otras ciencias naturales 443
Geoffroy Saint-Hilaire 443
Georges Cuvier 446
Lucha entre las concepciones creacionistas y transformistas en Francia 449
Exitos de la escuela embriológica rusa 450
Teoría del uniformismo en Geología 452
El sistema natural 453
Desarrollo de la Biogeografía y de la Ecología 454
Lucha de los científicos avanzados rusos por el materialismo en las ciencias naturales y sus ideas evolucionistas 455
Conclusiones 459

CAPÍTULO XII: CARLOS DARWIN Y SU TEORÍA 460

Premisas económico-sociales del darvinismo 460
Datos biográficos 462

Obras de Darwin 464
Doctrina de Darwin sobre la variabilidad de los organismos 465
Origen de las razas de animales domésticos 469
Doctrina de Darwin sobre la selección artificial 472
Doctrina de Darwin sobre la selección natural 475
La selección natural como consecuencia de la lucha por la existencia en la naturaleza 475
Relaciones mutuas que determinan la selección natural 476
Naturaleza de los obstáculos que frenan la reproducción 477
Medios de conservación del número en la especie 478
Selección sexual 482
Relatividad de los dispositivos elaborados por la selección natural 485
Relaciones mutuas en la naturaleza 485
Reproducción cuando la destrucción se limita y las especies se diseminan 486
Causas de la extinción de las especies y circunstancias que favorecen su formación 487
Críticas por los darvinistas rusos de las concepciones maltusianas de Darwin 488
La especie y el problema de la formación 490
Importancia de la teoría de Darwin 496
Conclusiones 498

CAPÍTULO XIII: LUCHA DEL MATERIALISMO Y EL IDEALISMO ALREDEDOR DE LA DOCTRINA DE DARWIN 500

Defensa de la teoría de Darwin por los científicos progresistas 500
Crisis de la Biología a fines del siglo XIX y comienzos del XX 506
Premisas sociales de la crisis en las ciencias biológicas 506
Intentos de rebatir el darvinismo basándose en las teorías autogenéticas de la herencia 507
Teorías que deforman la doctrina de Lamarck 512
Mecánica del desarrollo 513
Vitalismo 514
El darvinismo social y el neomaltusianismo 516
Conclusiones 517

CAPÍTULO XIV: DESARROLLO DEL DARVINISWO EN RUSIA 519

Cómo fue acogido el darvinismo en Rusia 519
Lucha de K. A. Timiriázev contra el antidarvinismo y desarrollo creador soviético 520
Rasgos fundamentales del darvinismo creador soviético 526
Desarrollo de la fisiología evolucionista de los animales y del hombre 527
Desarrollo de la morfología evolutiva 534
Conclusiones 551

CAPÍTULO XV: ALGUNOS DATOS SOBRE LA FILOGENIA DE LOS VERTEBRADOS Y EL ORIGEN DEL HOMBRE 553

Eras y períodos en la historia de la Tierra 553
Método triple de investigación de la filogenia de los animales 553
Origen de los vertebrados terrestres 565
Origen del hombre 571
Pruebas del origen animal del hombre 571
Rasgos de semejanza y diferencia entre el hombre y los monos antropomorfos 577
Antecesores fósiles del hombre 580
Papel del trabajo en la transformación del mono en hombre 583
Crítica de las teorías racistas 585
Conclusiones 586

PROLOGO A LA EDICION EN ESPAÑOL

La última edición de la presente obra en su lengua original data de 1956. Desde entonces, la ciencia ha acumulado nuevos e importantes datos que no se recogían en dicha edición.* La física, la química y las matemáticas, sobre todo, han registrado muchos y grandes éxitos. Esto ha ampliado considerablemente el campo metodológico de las ciencias biológicas, con lo cual ha habido que revisar también algunas tesis.

Como es sabido, dos son las direcciones fundamentales de la Biología actual. Tenemos, en primer lugar, la dirección michurinista que estudia el organismo en su aspecto histórico, en su unidad con el medio en que vive, y que concibe los cambios que se producen en él como resultado de los cambios que se operan en sus condiciones de vida. La corriente michurinista se basa en la filosofía del materialismo dialéctico.

Otra dirección biológica es la basada en las doctrinas autogenéticas de Weismann, Mendel y Morgan. De acuerdo con ella, existe una "sustancia hereditaria" especial, en el núcleo de la célula; esta sustancia es sumamente estable, existe independientemente del mundo exterior y se halla compuesta de "genes". Todo el contenido restante de la célula se concibe exclusivamente como un medio para dichos "genes". Según esta concepción, el "gene" sólo puede experimentar cambios insignificantes, ya que en lo fundamental conserva su estructura interna, la cual permanece inmutable desde que la vida apareció en la Tierra. Aunque el concepto de "gene" se ha modificado a lo largo de la historia de la ciencia, esta corriente biológica lo concibe como un corpúsculo, dotado de rasgos hereditarios, por cuya razón se ha dado el nombre de teoría corpuscular de la herencia a dicha corriente. Los michurinistas suelen llamarla genética formal por considerar que aborda el estudio del fenómeno de la herencia de un modo metafísico y antihistórico.

El concepto de "gene" no se agota en el estudio de la herencia. En general, lo hallamos en las soluciones dadas a todos los problemas biológicos, desde el relacionado con el origen de la vida hasta los problemas relativos al carácter específico e individual de las albúminas.

El prólogo a la presente edición nos brinda la oportunidad de examinar el modo como interpretan los nuevos datos científicos las dos tendencias mencionadas de la biología actual.

La aplicación de los nuevos medios de investigación —microscopio electrónico, radiografía, etc.— ha llevado a rechazar la existencia del "gene" como partícula material del cromosoma. Además, incluso los partidarios de la teoría corpuscular han acumulado un enorme material basado en he-

* En esta versión al español, los autores han introducido adiciones y enmiendas aconsejadas por el progreso de las ciencias biológicas, con lo que la obra, avalorada además con el presente prólogos, se coloca al día. (*N. del E.*)

chos que mina las bases de esta teoría (herencia citoplasmática, hibridación vegetativa, dependencia de las mutaciones con respecto a la influencia mutágena y al estado de las células sexuales sujetas a dicha influencia, etc.). En los Congresos —IX y X— Internacionales de Genética (Belangio, 1953; Canadá, 1957) los delegados pudieron comprobar la crisis de la teoría del "gene".

Sin embargo, los partidarios de esta teoría han tratado de sacarla del atolladero, basándose en algunas adquisiciones de ciencias auxiliares. Así, por ejemplo, lo que ha ocurrido con la bioquímica actual, que se ha apuntado grandes éxitos en el estudio del papel de nuevos ácidos nucleicos en la síntesis de la albúmina. Los representantes de la genética corpuscular pugnan por fortalecer su concepción de la "sustancia hereditaria" mediante cierta interpretación de algunos datos obtenidos por la bioquímica, la microbiología y otras ciencias. Después de haber entrado en quiebra la concepción del "gene" como partícula del cromosoma, los partidarios de la genética corpuscular lanzaron la idea del "gene-DNA" (ácido desoxiribonucleico), trasladando así sus indagaciones acerca de los portadores estáticos de la herencia al dominio de la estructura intramolecular. Por otra parte, la estructura del DNA se concibe de acuerdo con el modelo de su molécula propuesto por Watson y Crick, construido sobre la base del análisis radiográfico. De conformidad con este modelo, el DNA se compone de dos cadenas polinucleínicas muy largas que adoptan la forma de espiral. Este modelo ha servido de punto de partida para la explicación del proceso de reproducción de los cromosomas. Además, los enlaces hidrogenados que unen estas cadenas deben romperse, y las cadenas deshacerse; en este caso, cada una de ellas puede convertirse en el patrón-matriz para la formación de una nueva cadena sobre ella misma, lo que conduce a la duplicación de los cromosomas por vía "autocatalítica".

El modelo propuesto es una hipótesis que necesita ser probada. Sin embargo, los adeptos a la teoría corpuscular de la herencia la admiten como un axioma y la utilizan para demostrar que la sustancia hereditaria es precisamente la molécula DNA. A la molécula DNA se le adjudican así las propiedades que antes se atribuían al "gene", pues se la considera como un componente celular absolutamente estable. Se la aísla, asimismo, de los procesos de cambio que se operan en la célula, y se la hace aparecer dirigiendo la síntesis de diferentes sustancias sin agotarse jamás ni necesitar ser repuesta.

La información genética se obtiene mediante diversas combinaciones de las bases del DNA. Puesto que el número de las combinaciones posibles de sus cuatro bases (guanina, adenina, timina y citosina) es prácticamente ilimitado, se supone que es posible explicar de ese modo toda la variedad y diversidad de los organismos existentes en la Tierra. La modificación de los caracteres hereditarios se concibe simplemente como resultado de la violación del proceso de autorreproducción de la molécula DNA en determinado sector suyo.

Sin embargo, sigue sin explicarse cómo puede determinar la molécula del DNA en la célula hija el metabolismo característico de la célula madre.

Ahora bien, la relación entre la herencia y el metabolismo no ofrece hoy ninguna duda. Los partidarios de la teoría del "gene-DNA" suponen que la estructura específica del DNA sirve directamente de matriz para la sín-

tesis de las albúminas específicas, particularmente los fermentos, o bien proporciona la correspondiente información a través del RNA (ácido ribonucleico). Así, pues, la estructura del DNA determina la composición constante de los fermentos y, por consiguiente, el orden de sucesión de las reacciones en el proceso del metabolismo.

No obstante, hay hechos que contradicen esa concepción. Por ejemplo, como es sabido, las bacterias son muy ricas en ácidos nucleicos sintetizados; sin embargo, si se las coloca en condiciones tales que no puedan proveerse de componentes que no son necesarios para la síntesis de la albúmina, pero que sí son absolutamente necesarios para la síntesis de los ácidos nucleicos, raras veces se perturba la síntesis de la albúmina e incluso no cesa en absoluto. Esto demuestra, sobre todo, que el carácter específico de la síntesis albuminoidea no se halla determinado por moléculas completas de ácidos nucleicos que poseen determinado poder, sino tal vez por el proceso mismo de su reproducción en el curso de un metabolismo normal.

De acuerdo con la concepción del "gene-DNA", la aparición de la vida en la Tierra se inicia por la súbita formación de la cadena del DNA en una solución de sustancias orgánicas, formación que, según Ducroc, "tuvo una probabilidad que no se puede equiparar a cero". Así, pues, por ser un componente muy importante en el metabolismo del organismo vivo, el DNA surgió antes que él mismo, y el ser vivo se formó más tarde como resultado de la combinación de fermentos albuminoideos, ácidos nucleicos y otros componentes adaptados perfectamente para cumplir funciones vitales importantes. Ahora bien, estas funciones no tienen importancia para estas sustancias en cuanto tales, aunque son absolutamente necesarias para la existencia del organismo vivo en su conjunto. Es difícil concebir cómo estas sustancias adquirieron una estructura adecuada convenientemente para el cumplimiento de las funciones del organismo vivo, al margen de él y antes de que apareciera.

A. I. Oparin, creador en nuestros días de la doctrina materialista del origen de la vida en la Tierra, sostiene que el DNA surgió en una etapa tardía de la evolución. En el curso de su desarrollo, la materia ha ido pasando de los sistemas más simples a los más complejos. A juicio suyo, la etapa inicial consistió en la formación de polímeros construidos más o menos regularmente, con una disposición casual de péptidos y mononucleótidos, carentes por ello de la capacidad de cumplir cualquier función vital. Dicha formación se produjo en la superficie de la Tierra cuando aún no había vida en ella.

Estos polímeros pudieron unirse entre sí constituyendo sistemas multimoleculares, infinitamente más simples que los seres vivos más primitivos. Solamente como resultado de una larga evolución de estos sistemas iniciales, de su acción mutua con el medio exterior y de la selección natural, pudieron surgir las formas de organización propias de los seres vivos: aparecieron así el metabolismo, las albúminas, los fermentos, los ácidos nucleicos y otras sustancias características de los organismos actuales.

La capacidad de autorrenovación surgió desde el momento mismo en que se inció el metabolismo y mucho antes de que apareciera el DNA. Sin embargo, la aparición del DNA significó, sin duda alguna, una etapa importante en la evolución del metabolismo, ya que elevó a un alto nivel la capacidad de autorrenovación, después de asegurar cierto conservatismo, cons-

tancia de la composición, de la estructura y del metabolismo al multiplicarse todos los sistemas vivos cada vez más complejos. Ahora bien, basándonos en esto, no podemos reducir en ningún caso todo el complejo fenómeno de la autorrenovación biológica a una pura y simple multiplicación de las moléculas del DNA.

Cuanto más ahonda la investigación biológica concreta en el proceso de autorrenovación de los seres vivos, tanto más clara aparece para nosotros la idea de que este proceso no se halla ligado a una sustancia única, sea la que fuere, sino que constituye todo un sistema de organización del ser vivo. La capacidad de autorrenovación es propia del sistema metabólico entero.

La herencia se halla vinculada a la reproducción, pero la herencia es un concepto más amplio, ya que mediante ella se conserva el pasado histórico de todas las generaciones anteriores. Por esta razón, cuanto más alto sea el lugar que ocupa tal o cual forma en el sistema de la naturaleza, tanto más compleja será su herencia. En los organismos primitivos, el papel rector en la herencia corresponde, al parecer, a la autorreproducción, puesto que su herencia se reduce a la conservación del orden metabólico constante, propio de estos organismos, con su incesante crecimiento y multiplicación.

En la herencia de los organismos superiores, cada vez cobra más importancia el desarrollo, es decir, la reproducción de lo semejante "a través de una larga cadena de transformaciones de lo desemejante" (T. D. Lisenko). Es decir, aquí entra en escena determinado orden de cambios metabólicos en la ontogénesis del organismo que se desarrolla. Este orden no puede determinarse por un solo factor, puesto que refleja toda la filogénesis de una forma dada. Además, no hay que olvidar que de todas las posibilidades hereditarias del desarrollo de un organismo dado sólo pueden cumplirse aquellas que encuentran en el medio exterior las condiciones necesarias para su propio desenvolvimiento.

Desde este ángulo, la herencia del organismo sólo puede considerarse de un modo histórico en su unidad con el medio en que vive.

Los partidarios de la teoría corpuscular de la herencia creen que el DNA es el único portador de la herencia. Y, para demostrarlo, aportan las siguientes pruebas, directas o indirectas: los datos relativos a las transformaciones operadas bajo la acción del DNA, los datos acerca de los cambios en los bacteriófagos, así como algunos hechos relacionados con el contagio de bacterias por virus.

En el problema del papel genético del DNA hay que distinguir dos aspectos: *a*) la posibilidad de transmitir determinado carácter a través del DNA, y *b*) saber si el DNA es la "sustancia de la herencia". Ambas cuestiones suelen confundirse, pues al argumentar en favor de la primera tesis se considera demostrada la segunda.

Ahora bien, si se analiza el vasto material de que se dispone acerca de la influencia transformadora del DNA, puede considerarse resuelto positivamente, en principio, el problema de la posibilidad de transmitir ciertos caracteres a través del DNA. Y ello no obstante las muchas dificultades que se presentan (por ejemplo, al observar numerosas cepas de microbios sólo se obtuvo un resultado relativamente preciso para un número insignificante de ellas; limitación de este resultado a algunas formas estables dentro de la cepa dada; irrepetibilidad de muchos experimentos; dificultades para liberar al preparado de la mezcla con albúminas, etc.)

Para demostrar positivamente la segunda cuestión —saber si el DNA es

la sustancia de la herencia— hay que probar, ante todo, que la transmisión de determinado carácter en el proceso de transformación se realiza exclusivamente por conducto del DNA. El estudio de los datos disponibles sobre el proceso de transformación demuestra que la transmisión de caracteres puede efectuarse tanto por conducto del DNA y del RNA como por la albúmina. También puede producirse bajo la acción de diversos factores que pueden influir en el metabolismo. Así, pues, estos datos no pueden servir para probar la identificación del DNA con la "sustancia de la herencia". Los datos sobre transferencias —ejemplos de traslado de algunos caracteres por un determinado bacteriófago desde la bacteria donante hasta la bacteria receptora— suelen ser relacionados con la posibilidad de captar partes del DNA del donante por un bacteriófago. Ahora bien, si esto fuera así, sólo demostraría la posibilidad de transmitirse algunos caracteres por conducto del DNA, lo que no ofrece duda alguna, pero no demostraría en modo alguno su significación exclusiva. Sin embargo, los datos (Hezsley, 1953) que sirven de base habitualmente para probar la penetración del bacteriófago en la célula bacterial sólo por su parte ácido-nucleica dejando la parte albuminoidea fuera de la célula, han sido revisados radicalmente por su propio autor en trabajos posteriores (de 1955, 1956 y 1957). A estos trabajos posteriores no se hace referencia en general. Hay también otros trabajos que ponen en tela de juicio la transmisión de la infecciosidad de un bacteriófago únicamente a través del DNA.

Por lo que toca a los virus, no se hallan formados por el DNA, sino por el RNA; por esta razón, todos los datos e hipótesis relacionados con el DNA hay que trasladarlos al RNA. Sin embargo, la infecciosidad del RNA es insignificante en comparación con la del virus inicial (2 por 100). Esta disminución de su actividad ha sido explicada por la despolimerización; no obstante, las investigaciones ulteriores han establecido que la infecciosidad se da precisamente en fracciones de baja polimerización y que al elevarse el peso molecular desciende la infecciosidad. La vinculación con la albúmina eleva radicalmente la infecciosidad del preparado. Los experimentos realizados empleando átomos de carbono marcados han demostrado que, después de haber sido infectada una planta con VMT (virus del mosaico del tabaco), la síntesis del RNA y de la albúmina se produce simultáneamente.

Estos datos, así como muchos otros, demuestran que carece de fundamento la atribución del papel de portadores exclusivos de la herencia a los ácidos nucleicos y, en particular, al DNA.

Una de las pruebas indirectas más importantes que se aducen en favor del papel genético exclusivo del DNA consiste en la supuesta correspondencia de la cantidad de DNA con los cromosomas del núcleo (composición haploide, diploide, tetraploide, etc., de los cromosomas). Sin entrar ahora en la cuestión de si tal correspondencia existe, ésta no podría servir para demostrar la tesis; ahora bien, de acuerdo con el material de que se dispone, tal correspondencia no se presenta. Más todavía, en los núcleos de ciertas células, por lo menos en ciertas fases de su desarrollo, falta por completo el DNA (óvulos de las plantas superiores). También suele considerarse como una importante prueba indirecta en favor de la tesis del "gene-DNA" la afirmación de que el DNA sólo se encuentra en los cromosomas; esta tesis se ha convertido en un axioma. Sin embargo, en los últimos años se han obtenido datos relativos a los seres más diversos (anfibios, insectos, aves,

etcétera), sobre la existencia de grandes cantidades de DNA en el citoplasma celular. Además se ha demostrado que la síntesis del DNA en el citoplasma puede darse paralelamente con su síntesis en el núcleo, o también puede darse en distinto tiempo.

Igualmente se aduce como una de las pruebas indirectas del papel exclusivo del DNA en la herencia, el paralelismo existente entre la absorción de rayos de determinada longitud de onda y el máximo de mutaciones provocadas por la radiación en los microorganismos. Sin embargo, posteriormente se ha demostrado la existencia de dos máximos (A. Holleger y K. Etton, 1941). El segundo máximo corresponde a la absorción de los rayos por la albúmina. Los experimentos realizados con rayos ultravioleta han demostrado que tales soluciones no ejercen, en general, un efecto mutágeno. Hay también otros trabajos que abonan la idea de una influencia directa de la radiación ultravioleta exclusivamente sobre el DNA.

Pese a que hasta ahora no se ha demostrado científicamente con fundamento que el DNA sea la sustancia de la herencia, muchos investigadores científicos proclaman que el DNA es la única sustancia de los cromosomas, el único fundamento químico de las estructuras hereditarias y el código en el que se cifra el plan del futuro desarrollo del organismo.

Esta tesis no sólo la rechazan los científicos michurinistas de la Unión Soviética, sino también una serie de investigadores de otros países que critican severamente la exageración del papel de los ácidos nucleicos. Así, por ejemplo, Lindegren escribe (en 1959) que el secreto de la vida no puede radicar en la estructura de una sustancia química, sea la que fuere. Zamenhof y Müller no admiten tampoco que el DNA sea el portador exclusivo de la herencia. Chargraff, eminente especialista en ácidos nucleicos, se opone a que se exagere el papel de los ácidos nucleicos en detrimento de otros componentes de la célula no menos importantes.

No cabe duda de que los ácidos nucleicos desempeñan un papel esencial y tienen una importancia fundamental en los procesos sintéticos celulares; tampoco se puede negar la posibilidad de que ciertos caracteres y propiedades se transmitan a través del DNA. Sin embargo, hay toda clase de razones para rechazar categóricamente que el DNA sea el portador exclusivo de la herencia y se identifique con la "sustancia de la herencia".

Anteriormente aportamos una serie de datos para criticar semejante concepción del papel del DNA. Desde el punto de vista del materialismo dialéctico, la tesis de la existencia de una "sustancia especial de la herencia" no resiste a la crítica, ya que la herencia no es una sustancia, sino una propiedad de los seres vivos. No cabe hablar de la "sustancia de la herencia", como tampoco puede hablarse de la "sustancia de la vida".

Partiendo del metabolismo como fundamento de la vida, la biología michurinista elaboró una justa concepción de la herencia. K. A. Timiriázev trazó certeramente las perspectivas de desarrollo de una genética creadora. Considerando que carecían de perspectivas los intentos de descubrir estructuras celulares, a las que pudieran vincularse tal o cual carácter o propiedad del futuro organismo, Timiriázev pensaba que la esencia de la herencia solamente podría ser descubierta por medio de investigaciones fisiológicas y ampliando considerablemente los métodos físicos y químicos.

La práctica de la creación de numerosas variedades de plantas y razas de animales sobre la base de la teoría michurinista y, por otra parte, la absoluta infecundidad, en este aspecto, de la teoría corpuscular de la he-

rencia, constituye el mejor criterio para encontrar la verdad en la discusión que, desde hace ya más de un cuarto de siglo, sostienen los michurinistas y los partidarios de la teoría corpuscular. Estos últimos se mantienen fieles, sólo en apariencia, a las novísimas conquistas de la física, la química y otras ciencias auxiliares. Ahora bien, en el fondo, con su interpretación prematura y simplista de los datos de esas ciencias, obstaculizan una justa explicación de los valiosísimos datos obtenidos por ellas.

El progreso sucesivo de la química, la física y las matemáticas contribuirá, indudablemente, a esclarecer muchos problemas de la herencia, así como el proceso mismo de la vida. En sus investigaciones, la biología debe aplicar los métodos de la física, la química y las matemáticas, pero no hay que olvidar que la biología es una ciencia autónoma con su objetivo propio y sus propios métodos de investigación y que, por tanto, no puede ser desplazada por la física, la química o las matemáticas.

PROF. V. V. MAJOVKO

Enero de 1964.

PREFACIO

Nuestro propósito al preparar la segunda edición de la presente obra era escribir un manual que respondiera en su totalidad al programa del curso de Biología General para las Facultades de Medicina, recogiendo las numerosas críticas a que dio lugar la primera. Esta segunda edición ha sido profundamente corregida por V. V. Majovko: se ha modificado la estructura del libro, se ha evitado la repetición de materias, se han reducido los informes de carácter biográfico e histórico y se ha revisado totalmente el texto. Todo ello ha permitido reducir bastante el volumen de la obra y, al mismo tiempo, incluir más material de documentación.

Se han añadido nuevos capítulos: "Irritabilidad", "Algunos datos de Ecología y Taxonomía" y "Tipos del reino animal". Han sido ampliados los datos en la parte de anatomía comparada, etc.

Para esta edición se ha utilizado el material del profesor P. V. Makárov, en los capítulos: "El metabolismo, propiedad fundamental de los seres vivos", "Formas vivas celulares y no celulares" y en los apartados "Desarrollo individual de los animales" y "Origen del hombre"; son también suyos algunos fragmentos del capítulo "Reproducción". Pertenece a E. P. Braslávskaia el capítulo "Tipos del reino vegetal". El capítulo "Tipos del reino animal" ha sido escrito en colaboración con T. B. Kórobova.

El resto del manual, así como las conclusiones de todos los capítulos, ha sido escrito por V. V. Majovko.

Aprovecho la ocasión para manifestar mi profundo agradecimiento a las numerosas personas que han hecho la crítica del libro, crítica que ha contribuido sensiblemente a su mejoramiento. Expreso también mi gratitud a los miembros de la cátedra de Biología General del Segundo Instituto de Medicina de Moscú, que en numerosas reuniones han hecho el examen de esta obra, y, particularmente, a A. N. Torin, por sus valiosas sugerencias acerca del capítulo "Formas de vida celulares y no celulares".

PROF. V. V. MAJOVKO.

INTRODUCCION

OBJETO DE LA BIOLOGIA

El término biología procede de las palabras griegas "bios", vida, y "logos", ciencia; es la ciencia de la vida. Biología es un concepto extraordinariamente vasto, que incluye todo cuanto se conoce acerca del reino animal y vegetal.

El mundo orgánico es muy amplio y multiforme. El reino animal y vegetal lo constituyen las plantas, los animales, los microorganismos, incluyendo los virus (del vocablo latino "virus", veneno) y los bacteriófagos (de la voz griega "phagos", voraz), que son las formas más simples, ya en los límites de la vida. El hombre forma también parte del reino animal, aunque en el proceso de su formación y desarrollo lo fundamental han sido los factores sociales. Las leyes que rigen la sociedad humana fueron descubiertas por los fundadores del marxismo-leninismo. De su estudio se ocupan el materialismo histórico, la economía política y otras ciencias sociales.

La investigación del reino animal y vegetal tiene por objeto el estudio de la estructura y funciones de los organismos, su desarrollo individual e histórico, su distribución geográfica y la influencia ejercida en ellos por el medio ambiente: de los factores bióticos (por parte de otros organismos) y abióticos (de la naturaleza inorgánica); su lugar en el sistema de la naturaleza, etc.

Es evidente que tan vastos problemas no caben en una sola disciplina; a su estudio se dedican una serie de disciplinas biológicas.

Sin embargo, a pesar de lo variado de la estructura, las funciones y el modo de vida de los seres vivos que constituyen la naturaleza orgánica, todos ellos tienen una serie de rasgos *comunes,* que diferencian a la naturaleza viva de la no viva.

Las características comunes a todos los seres vivos son: la presencia de albuminoides en los organismos, el metabolismo, la comunidad de elementos estructurales, la irritabilidad, el crecimiento, la reproducción, la herencia y la variabilidad.

El estudio de las propiedades comunes a todos los organismos, tanto del reino animal como del vegetal, sus características, el establecimiento de leyes generales sobre la aparición y el desarrollo de la naturaleza viviente constituyen el objeto de la Biología general.

Sólo es posible llegar a conocer las leyes generales del desarrollo de animales y vegetales apoyándose en el círculo de datos que ofrecen las diferentes disciplinas biológicas.

De ellas las más importantes son: la *Zoología* (del griego "zoon", animal) la *Botánica* (del griego "botane", hierba) y la *Microbiología* ("micros",

pequeño), que estudian, respectivamente, el reino animal, el vegetal y los microorganismos.

Cada una de estas ciencias está integrada por otras más especializadas; así, forman parte de la Zoología la *Protistología,* ciencia que estudia los seres unicelulares; la *Entomología,* que trata de los insectos; la *Ictiología,* de los peces; la *Ornitología,* de las aves; la *Parasitología,* de las formas parásitas, etc.

La Botánica también se divide en diversas partes. Pueden citarse, entre otras, la *Algología* (ciencia de las algas), la *Briología* (ciencia de los musgos), la *Micología* (ciencia de los hongos), etc. La *Microbiología* está íntimamente ligada a la Botánica, ya que las formas vegetales inferiores forman parte de los microorganismos. En particular, pertenece a la Microbiología la *Virusología,* que estudia los virus, que son formas celulares invisibles con los microscopios corrientes. Los virus son tan diminutos, que pasan a través de los minúsculos poros de los filtros de porcelana, que retienen los microbios.

De acuerdo con objetivos concretos y métodos de investigación especiales se independizan de las ciencias zoológicas y botánicas una serie de ciencias *morfológicas* (del griego "morfe", forma) y *fisiológicas.* Las primeras estudian la forma y estructura de los organismos; las segundas, sus funciones.

Integran las ciencias morfológicas: la *Anatomía de las plantas, los animales y el hombre,* la *Anatomía comparada,* la Anatomía microscópica o *Histología* ("histos" en griego, tejido), la *Histología comparada,* la *Citología* (del griego "cytos", célula), que estudia las células, unidades estructurales básicas de las plantas y los animales, su morfología y sus propiedades biológicas y físicoquímicas.

La *Embriología* (del gr. "embryon", embrión) estudia el período embrionario de desarrollo de los organismos. La *sistemática* o *taxonomía* es la ciencia que trata de la estructuración en grupos de los animales y vegetales y establece el lugar que corresponde a una u otra forma dentro del sistema de la naturaleza. La *Biogeografía* estudia la distribución geográfica de los animales (zoogeografía) y los vegetales (fitogeografía). Intimamente unida a la sistemática y a la biogeografía está la *Ecología* (del gr. "oikos", foco), que estudia las relaciones entre los organismos y el medio ambiente. La *Paleontología* se ocupa de la historia del desarrollo de los seres orgánicos, investigando los restos fósiles de los animales (paleozoología) y las plantas (paleobotánica).

La Microbiología se subdivide, a su vez, en partes que estudian la sistemática, morfología, fisiología, ecología, etc., de las formas inferiores de los seres orgánicos.

Integran las ciencias fisiológicas: la *Fisiología de las plantas,* la *Fisiología de los animales y del hombre y la Fisiología comparada.* Guardan íntima relación con la Fisiología la *Química orgánica* y la *Bioquímica,* que estudian la cualidad fundamental de los cuerpos vivos, el metabolismo.

Lo característico de las ciencias morfológicas es el *método descriptivo y comparativo.*

Las ciencias fisiológicas utilizan con preferencia el método *experimental.* Sin embargo, hoy día, la experimentación se abre rápidamente camino en las ciencias morfológicas. El método experimental, que permite modificar de forma artificial las condiciones en que se verifican los procesos vitales,

es un potentísimo método de investigación y permite, siempre y cuando el experimento esté bien planteado, descubrir el fondo de los fenómenos y las causas que los motivaron.

La Biología es un factor esencial que contribuye a establecer una concepción materialista y científica del mundo.

La lucha de clases, en cada período de desarrollo de la sociedad humana, se ha visto reflejada en la concepción que del mundo se tenía y en la pugna de las tendencias filosóficas, pugna que, a su vez, influyó en el desarrollo de la Biología. Por eso, la Biología ha sido y continúa siendo campo de la lucha ideológica.

Al formular sus teorías, los biólogos no pueden esquivar el problema filosófico fundamental, la relación entre la *materia* y la *conciencia*.

Los materialistas parten de la prioridad de la materia y reconocen la existencia real del mundo material independientemente de la conciencia humana, a la que consideran derivada de la materia y aparecida tan sólo en un período de su desarrollo, después de haber surgido la forma de materia más altamente organizada, que es el cerebro.

Los idealistas consideran que lo primero es la conciencia y que el mundo material no es sino un producto de ella. El idealismo fue en un principio el intento de interpretar en forma primitiva, recurriendo a un supremo principio divino, los entonces inexplicables fenómenos de la naturaleza.

En Biología, el idealismo se halla representado por el *vitalismo* (del latín "vis vitalis", fuerza vital), según el cual los fenómenos de la vida están separados por un abismo sin fondo del mundo inorgánico y no pueden explicarse apoyándose en las leyes materiales. Lo específico de la naturaleza viva, la necesidad de las estructuras y las funciones, lo explican los idealistas por la existencia en los seres vivos de una "fuerza vital" no material, cuya naturaleza no puede ser estudiada, por ser incognoscible.

El vitalismo se desarrolló a fines del siglo XVIII en contraposición al materialismo mecanicista, que recurría a las leyes de la mecánica para explicar todos los fenómenos de la vida. En Biología, frente al idealismo se levanta el materialismo. Al mismo tiempo que niega la existencia en la naturaleza de toda fuerza sobrenatural, el materialismo afirma que la vida se desarrolla según leyes naturales.

René Descartes (1596-1650), apoyándose en los éxitos alcanzados en su tiempo por las matemáticas y la mecánica, trató de concebir los seres orgánicos y el mundo inorgánico desde un punto de vista material. Pero Descartes buscaba la explicación de los fenómenos vitales, en leyes puramente mecánicas, reduciéndolos a procesos de este tipo.

Los materialistas franceses del siglo XVIII, Denis Diderot (1713-1784), Julien de La Mettrie (1709-1751) y otros, continuaron desarrollando el *materialismo mecanicista*, fundando la teoría del *organismo-máquina*. Sin embargo, tal punto de visto es muy limitado.

Según los mecanicistas, lo vivo no se diferencia cualitativamente de lo inerte. La diferencia radica únicamente en la mayor complejidad de la estructura de los seres vivos. Los mecanicistas reducen los procesos vitales a fenómenos físicos y químicos. Según los partidarios de esta corriente, el estudio de la naturaleza viva consiste en descomponer los procesos biológicos en otros más sencillos, capaces de ser explicados mediante leyes físicas y químicas.

De hecho, semejante descomposición del organismo completo en sus elementos no nos ayuda a comprender la esencia del mismo, pues con ello los seres vivos dejan de serlo, es decir, se pierde lo que es específico de ellos. Por ejemplo, el estudio de la anatomía y la química del cerebro no permite descubrir la esencia del proceso del pensamiento.

El materialismo mecanicista es *metafísico,* ya que su modo de enfocar los fenómenos de la naturaleza se caracteriza por la falta de método histórico, le es extraña la idea del desarrollo. Todos los fenómenos de la naturaleza los estudia aislados unos de otros, como si fueran invariables y estuvieran petrificados, es decir, como si hubieran sido creados de una vez para siempre.

De ahí que el materialismo mecanicista fuera incapaz de ofrecer resistencia al vitalismo. La idea del organismo-máquina presupone indefectiblemente la existencia de un creador de dicha máquina, que es también quien la pone en movimiento. El desarrollo lógico de los principios del materialismo mecanicista no podía por menos de conducir al vitalismo.

Los grandes demócratas revolucionarios rusos, los filósofos materialistas V. G. Belinski (1811-1848), A. I. Hertzen (1812-1870), N. G. Chernishevski (1828-1889) y N. A. Dobroliúbov (1836-1861), hicieron una profunda crítica del idealismo y combatieron el materialismo metafísico. Apoyaban la necesidad de combinar el materialismo con la idea del desarrollo, las ciencias naturales con la filosofía, la teoría con la práctica. V. I. Lenin tenía un elevado criterio de las ideas de los demócratas revolucionarios rusos sobre la filosofía y las ciencias naturales. Subrayaba, en particular, que Herzen, en su principal obra filosófica, *Cartas sobre el estudio de la naturaleza,* se acercó de lleno al materialismo *dialéctico.*

El materialismo dialéctico es el único que da una interpretación científica de la naturaleza. Sus creadores son C. Marx (1818-1883), F. Engels (1820-1895) y V. I. Lenin (1870-1924).

El materialismo dialéctico se forjó en reñida lucha con la metafísica y el idealismo. El materialismo dialéctico marxista, al mismo tiempo que reconoce la unidad de la naturaleza animada e inanimada, afirma que los seres vivos, como grado superior del desarrollo de la materia, *gozan de una cualidad netamente original;* el proceso del desarrollo debe estudiarse teniendo en cuenta la *relación mutua y la interdependencia* entre los seres y los fenómenos de la naturaleza.

Para comprender la naturaleza, hay que tener en cuenta su dinámica y desarrollo continuos. El proceso de su desarrollo es un avance que sigue una trayectoria helicoidal de lo simple a lo complejo, de lo inferior a lo superior, de un estado cualitativo a otro. La fuerza motriz del desarrollo son las *contradiciones internas* innatas a los cuerpos y fenómenos de la naturaleza.

Es precisamente la lucha de estas contradicciones lo que constituye el proceso de desarrollo. Lo nuevo nace en el seno de lo viejo y lo vence.

El método materialista dialéctico es el fundamento de la actual ciencia biológica michurinista avanzada, que debe su nombre al gran transformador de la naturaleza I. V. Michurin.

Por otra parte, las ciencias biológicas avanzadas son, a su vez, una de las bases científicas más importantes de la filosofía materialista.

En el umbral de la cultura humana, la medicina y la agricultura fueron la fuente de donde surgieron las ciencias biológicas, las cuales, a partir de la mitad del siglo pasado, progresan hasta tal punto que ellas mismas se convierten en base teórica de dichas ciencias. Los comienzos de la Biología científica hay que buscarlos en los trabajos de Juan Bautista Lamarck (1744-1829) y Carlos Darwin (1809-1882). El darvinismo es la teoría evolucionista materialista del origen y desarrollo del mundo orgánico, incluído el hombre.

La teoría de Darwin proporcionaba a las ciencias biológicas una firme base materialista, dotándolas de un método histórico de investigación extraordinariamente fructífero. Sin embargo, esta teoría no fue capaz de dar a todos los problemas una interpretación exacta y completa. Por ejemplo, Darwin admite plenamente que el medio es la fuente de la variabilidad de los organismos, pero no descubrió la esencia de las relaciones existentes entre el organismo y el medio en que vive, ni aclaró las causas que determinan el carácter de tal variabilidad de los organismos.

La teoría de Darwin se basó en la idea de una variabilidad casual y útil que se va acumulando durante las generaciones por medio de la selección. Correspondía al nivel de la ciencia y de la vida económica de Inglaterra en la época de su autor.

Es decir, que Darwin no investigó las causas que motivaban la aparición de tal o cual transformación, sino tan sólo la conservación en los descendientes de las modificaciones ya aparecidas.

Darwin realizó una gran empresa científica al demostrar el desarrollo histórico de la naturaleza viviente. Sin embargo, debido a la estrechez de su concepción del mundo —propia de la burguesía—, no fue capaz de explicar las causas de los cambios que sirven de base para la selección. Según Darwin, el hombre es "incapaz, tanto de producir una nueva variedad como de evitar su aparición; de lo único que es capaz es de conservar y acumular los cambios que se manifiestan por sí mismos".

El desarrollo en la U. R. S. S. de la agricultura socialista planteó ante la ciencia soviética una nueva tarea, la de dominar el proceso de la variabilidad, de dirigir el desarrollo de los organismos con objeto de obtener la abundancia de productos necesarios para la construcción de la sociedad comunista.

Michurin lanza y lleva a cabo la consigna: "El hombre puede y debe hacer las cosas mejor que la naturaleza"[1]. En la Unión Soviética el darvinismo ha alcanzado una fase superior. El darvinismo creador soviético es obra de científicos tan eminentes como K. A. Timiriázev, I. V. Michurin, I. P. Pávlov, V. V. Dokucháev, D. A. Kóstichev, V. R. Williams y Trofim Desinovich Lisenko.

La teoría de Darwin aclaró los problemas del desarrollo del mundo orgánico. El darvinismo soviético permite dominar el proceso de desarrollo y dirigirlo de una forma consciente.

En los países capitalistas llegaron a alcanzar gran predicamento las teorías idealistas de Weismann, Mendel y Morgan, las cuales niegan la heren-

[1] I. V. Michurin, *Obras*, t. IV. Moscú, 1948, pág. 245.

cia de los caracteres adquiridos, que es la base de la evolución. Estas teorías afirmaban la existencia en las células sexuales de una "materia hereditaria", especial y aislada del mundo exterior, materia que no está sometida al metabolismo y que desde siempre conserva en las generaciones la constancia de caracteres. Estas teorías niegan en realidad el desarrollo y el progreso en la naturaleza viviente. Están aisladas de la práctica, la desorientan, desposeyéndola de perspectiva. En todos los países hay, sin embargo, científicos progresistas que defienden las posiciones materialistas en Biología.

Timiriázev hizo un profundo análisis crítico de la teoría de Weismann y Morgan. Fue él quien expuso el camino a seguir y las tareas a resolver por la *Genética* (ciencia que trata de la herencia y sus variaciones).

Los problemas enunciados por Timiriázev encontraron solución en los trabajos de Michurin y Lisenko.

Michurin desarrolló lo que había de racional y materialista en la teoría de Darwin, revisando al mismo tiempo los métodos de selección darvinistas, basados en éxitos casuales. No le satisfacían las "mercedes casuales de la naturaleza". Son suyas las palabras: "No debemos esperar mercedes de la naturaleza, nuestra misión consiste en arrancárselas"[2].

La selección de variaciones útiles, pero casuales e independientes de la voluntad humana, las comparaba Michurin a la búsqueda de tesoros, procedimiento que consideraba como una fase primitiva de la selección. En lugar de ello propuso un método selectivo científico al que denominó *selección planificada educativa.*

Michurin investigó en sus trabajos las causas originarias de las variaciones iniciales, que sirven de material para la selección; esto permite elegir determinadas condiciones del medio ambiente y provocar las variaciones que el seleccionador busca. Michurin mostró en la práctica cómo aparecen en la vida individual de los seres modificaciones que dan origen a nuevos caracteres y propiedades, y de qué modo, sobre esta base, aparecen nuevas formas. La teoría de este gran sabio ha sido ampliada por científicos soviéticos, y en primer término por el académico Lisenko.

La teoría michurinista se ha abierto paso en enconada lucha con el mendelismo-morganismo, hasta su triunfo en la discusión llevada a cabo en la Academia de Ciencias Agronómicas de la U. R. S. S. (agosto de 1948).

Basándose en la teoría michurinista, los hombres de ciencia soviéticos han infundido un considerable impulso a la selección. Esta teoría ha penetrado profundamente en las masas; ha aparecido en la agricultura, la horticultura y la ganadería todo un ejército de experimentadores michurinistas, que han enriquecido al país soviético con nuevas variedades de plantas y razas de animales. La agricultura y la ganadería se adentran así más y más en las tierras septentrionales.

Lo característico del michurinismo es su íntima relación entre la teoría y la práctica.

La teoría biológica está estrechamente relacionada no sólo con la agricultura, sino también con la industria y la medicina.

[2] I. V. Michurin, *Obras*, t. IV. pág. 605.

PAPEL DE LA BIOLOGIA EN LA ENSEÑANZA MEDICA

Una teoría biológica acertada sirve de guía al médico en sus actividades prácticas. La biología michurinista le proporciona las bases del conocimiento materialista dialéctico de la naturaleza viviente, las bases de su interpretación histórico-natural.

La teoría michurinista sobre la unidad del organismo y el medio y la teoría de Pávlov sobre el organismo considerado como un todo y el papel principal del sistema nervioso, que asegura la actividad del organismo como una unidad en sus relaciones con el medio, son la base de las ciencias médicas avanzadas. El tratamiento de muchas enfermedades y las medidas para prevenirlas se fundan en el descubrimiento de dichas relaciones, ya que el proceso patológico (del griego "patos", enfermedad) expresa, ante todo, la modificación de las relaciones normales entre el organismo y sus condiciones de vida (exteriores o interiores).

Los éxitos de la Medicina no se deben sólo al avance de la Biología general, sino también a los adelantos logrados por las ciencias biológicas especiales. Cada descubrimiento importante en estas últimas es un paso más en el progreso de la Medicina teórica y práctica.

Muestra de ello es, por ejemplo, la labor de I. I. Méchnikov. Al estudiar algunas formas de animales invertebrados, Méchnikov descubrió que su digestión era endocelular, lo que sirvió de base a la teoría fagocitaria. Determinadas células de los animales superiores y del hombre, los leucocitos sanguíneos, de grandes dimensiones (llamados por Méchnikov fagocitos o devoradores), conservan dicha propiedad de las formas inferiores, habiendo sustituído las funciones nutritivas por funciones de defensa durante el proceso evolutivo.

La concentración de leucocitos en aquellos lugares en que penetran cuerpos extraños va unida a una reacción inflamatoria; esto dio origen a la teoría de Méchnikov sobre el proceso de inflamación y después a la teoría de la inmunidad (cuando el organismo se muestra refractario a determinadas infecciones).

La aplicación que Méchnikov hace en la microbiología de la teoría de Darwin acerca de la lucha entre las especies ha traído consigo en nuestros días la aparición de la teoría de los antibióticos, las medicinas más potentes (penicilina, estreptomicina, etc.), cuya acción se basa en las relaciones antagónicas entre microorganismos.

La demostración de Luis Pasteur de la ausencia de generación espontánea en los microbios, después de su destrucción mediante la ebullición en recipientes cerrados, representaba una revolución en la ciencia, ya que establecía en ella el principio de la asepsia (desinfección).

El estudio de la filogenia (historia del origen) del hombre va unido a la paleontología y a la anatomía comparada. La anatomía humana es parte de la de los vertebrados y fundamento para el estudio de la anatomía patológica, que se ocupa de las transformaciones morfológicas producidas en el organismo bajo la acción del proceso patológico. Lo mismo puede decirse respecto a la histología del organismo humano y otra serie de disciplinas.

La embriología experimental significa una gran aportación para la Medicina, al explicar, entre otras cosas, la esencia y causa de las monstruo-

sidades. Esta parte de la Embriología recibe el nombre de Teratología (estudio de las anomalías).

La gran importancia que la Fisiología normal tiene para la Medicina ha aumentado, sobre todo, gracias a los trabajos de Pávlov, que estableció una relación muy estrecha entre la fisiología y la clínica.

La fisiología de Pávlov se ha convertido en el fundamento teórico y científico de todas las ciencias médicas, de la higiene, la profilaxis y la curación. Sin dominar la Fisiología normal no se puede estudiar la fisiología del enfermo, la Fisiología Patológica. Esta última se ocupa de los procesos patológicos generales en el organismo, de los trastornos que tienen lugar en sus principales funciones.

Las disciplinas médicas teóricas de tipo general, —la Fisiología, la Anatomía y la Histología patológicas—, que amplían nuestro conocimiento de las enfermedades, nos proporcionan un criterio general del desarrollo, del carácter de unos u otros procesos patológicos. Estas ciencias crean la base teórica para el estudio de las enfermedades, de las que se ocupa la *Patología especial,* la cual guarda relación con su terapéutica y, ante todo, con la *Farmacología,* que a su vez está íntimamente relacionada con la Botánica.

Muchas enfermedades son infecciosas, es decir, originadas por microbios; de aquí que esta parte de la Medicina esté en estrecho contacto con la Microbiología. Otras enfermedades las originan diferentes invertebrados: los protozoarios, los gusanos y los ácaros. Existen también animales venenosos. En esta esfera, la Medicina se enlaza con la Zoología y la Ecología. Muchos animales son transmisores o productores de formas patógenas para el hombre. Las enfermedades cuyos agentes causales se propagan por insectos (mosquitos) o ácaros reciben el nombre de *transmitidas.*

El estudio de estas enfermedades ha sido desarrollado por el zoólogo soviético académico E. N. Pavlovski. Gracias a sus trabajos y a los de sus discípulos se ha logrado aclarar la naturaleza y los medios de difusión de la encefalitis primaveral, estival y otoñal, del tifus exantemático y de otras muchas enfermedades, y se han hallado métodos radicales para combatirlas.

Ha prestado grandes servicios a la Medicina el académico K. I. Skriabin, con sus estudios sobre el ciclo de desarrollo de múltiples helmintos (gusanos parásitos) y la organización de medidas masivas para combatirlos; es el fundador de la escuela soviética de helmintología.

Muchas formas parásitas atraviesan un complicadísimo ciclo vital, que va acompañado del cambio de huésped. Puede servir de ejemplo la *Fasciola hepatica* (duela del hígado), cuya forma adulta se encuentra como parásito en el hígado del hombre. Antes de llegar al organismo humano, este representante de los gusanos planos debe realizar una de sus fases de larva en cierto molusco. Algunos parásitos del hombre recorren un ciclo más complejo y su desarrollo va unido a un cambio de huéspedes intermedios.

El estudio del proceso vital y de las condiciones de vida de las formas parasitarias permite encontrar medidas eficaces de lucha contra ellas, al interrumpir el ciclo de desarrollo en alguna de sus fases (destrucción del huésped intermedio, del transmisor o del productor de la infección). Por ejemplo, las medidas profilácticas de lucha contra la *Fasciola hepatica* tienden al exterminio de su huésped intermedio, el molusco. Las medidas antipalúdicas tratan de destruir los mosquitos maláricos y sus larvas en las localidades donde existe el paludismo.

La lucha contra la leishmaniosis, enfermedad extendida en Asia Central, se realiza mediante la destrucción de unos pequeños roedores, que son los portadores de los agentes patógenos de esta enfermedad tropical, que de los roedores se transmite al hombre por intermedio de los mosquitos.

Los ejemplos anteriores demuestran que el factor ecológico desempeña un importante papel en el estudio de la zoología dentro de las Facultades de Medicina.

La importancia de la Ecología en la enseñanza médica se hace aún más evidente si tenemos en cuenta que el propio organismo humano es el ambiente en que habitan múltiples clases de microbios y protozoarios y donde tienen lugar complicadísimas relaciones de estas formas entre sí y con el organismo humano. Al penetrar en el cuerpo del hombre el agente patogénico, estas relaciones pueden decidir, en última instancia, si se desarrollará o no el proceso patológico. En esta esfera son muy interesantes y fructíferas las investigaciones que llevan a cabo Pavlovski y sus colaboradores.

Por tanto, el estudio de la Biología general en los Institutos de Medicina proporciona las bases teóricas de las disciplinas médicas; y los datos con los que operan las distintas ramas de la Biología son también un elemento necesario en la capacitación de los médicos futuros.

PARTE PRIMERA

PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS SERES VIVOS

CAPITULO I

EL METABOLISMO, PROPIEDAD FUNDAMENTAL DE LOS SERES VIVOS

F. ENGELS Y LA NATURALEZA DE LA VIDA

El problema de la naturaleza de la vida es el punto básico alrededor del cual se desenvuelve una enconada lucha entre los principios materialistas progresivos y los conceptos idealistas reaccionarios.

El problema de la naturaleza de la vida, de lo que es común a todos los seres vivos, desde los animales superiores y el hombre hasta las formas de vida más primitivas, de lo que diferencia a la naturaleza viviente de la no viviente, lo resuelven los representantes de ambos campos de manera distinta.

Todas las tendencias idealistas en la ciencia defienden, en último término, la idea de que la naturaleza de la vida es incognoscible; se niegan a descubrir sus leyes y a modificar, basándose en su conocimiento, la naturaleza viviente en interés del hombre.

El materialismo dialéctico es la única concepción del mundo que permite plantear el problema de la vida sobre una base verdaderamente científica.

Formas de transformación de la materia. El materialismo dialéctico ve toda la diversidad del mundo que nos rodea como una diversidad de formas de cambios de la materia. La inestabilidad, a su vez, se toma como una propiedad inherente inseparable de la materia.

El perpetuo cambio es la base de todos los procesos y fenómenos que tienen lugar en el Universo, desde el simple desplazamiento en el espacio hasta el pensar.

La historia de las ciencias naturales es la historia del estudio de las formas de la transformación de la materia. Engels señala que a la ciencia de los cambios en el espacio —la mecánica de los cuerpos celestes y de las masas terrestres— siguió el desarrollo de la ciencia de los cambios moleculares (la Física) y a continuación, e incluso en forma paralela, la ciencia de los cambios de los átomos (la Química).

Solamente cuando el conocimiento de las formas de cambio propias de la naturaleza inorgánica alcanzó un determinado grado, pudo el hombre afrontar los fenómenos de las transformaciones de la materia que constituyen el proceso vital. Los éxitos de dicho conocimiento corrieron paralelos a los alcanzados en la Física y la Química.

Engels define así la vida: *La vida es el modo de existencia de los cuerpos albuminoideos, y este modo de existencia consiste esencialmente en la renovación constante de los elementos químicos constitutivos de aquéllos*

por la nutrición y la eliminación[1] (la cursiva es mía, *V. M.*). Engels dice que en cualquier parte en que encontremos vida, estará relacionada con algún albuminoide y que en cualquier parte en que estemos en presencia de una de estas sustancias, que no se halle en proceso de descomposición, nos encontraremos con fenómenos vitales.

La vida y sus portadores, los albuminoides, son derivados de la naturaleza inorgánica. La naturaleza viva y la inerte tienen la misma base material. Los cuerpos vivos se componen de los mismos elementos químicos que hallamos en la naturaleza inorgánica; más aún, contienen tan sólo un número reducido de dichos elementos.

Federico Engels

Al mismo tiempo que subraya la unidad de la naturaleza viva e inerte, el materialismo dialéctico señala la cualidad específica de los seres vivos, consistente en que se rigen por leyes *biológicas* propias, diferentes de las leyes físicas y químicas más simples. Los elementos químicos que integran los seres vivos presentan un estado cualitativamente distinto que en la naturaleza inorgánica. Engels considera el *metabolismo* como el fenómeno más general y más típico de la vida.

Todos los seres vivos se encuentran en un *ambiente* determinado, característico de cada forma y fuera del cual no pueden subsistir. Así, por ejemplo, los peces pueden desarrollarse y vivir únicamente en el agua, en tierra perecen; en cambio, los animales terrestres necesitan de la atmósfera. Dentro de las plantas hay formas acuáticas y terrestres, y entre estas últimas las hay que requieren un ambiente de humedad y otras que se desarrollan en los lugares secos. Muchos organismos se han adaptado a la forma de vida parasitaria: viven en la sangre, en los plasmas de los tejidos, en el intestino, en las células del cuerpo humano y de los animales. Igualmente variado es el lugar que habitan los organismos libres. Muchos de ellos viven en la tierra, el agua, etc. Entre los organismos y los lugares donde moran, existe una determinada relación, hay una determinada unidad. ¿Se dan tales relaciones en la naturaleza inorgánica? ¿Existen diferencias esenciales en las relaciones entre los seres vivos y no vivos con el mundo exterior que los rodea?

En condiciones normales, los cuerpos inorgánicos no están aislados unos de otros. Las relaciones entre ellos se reflejan en procesos físicos y químicos cuyo resultado son las transformaciones de estas sustancias que dan lugar a su descomposición en sus partes integrantes y a la formación de nuevas combinaciones químicas. Por ejemplo, al oxidarse un metal aparece la herrumbre. Las rocas graníticas se descomponen por la meteorización en cuarzo, arcilla, óxido de hierro, etc.

Así, pues, también existe el intercambio en la naturaleza inorgánica.

[1] Engels, F., *Anti-Dühring*, Ed. Pueblos Unidos, Montevideo, 1960, pág. 956.

Al examinar las relaciones de los cuerpos vivos y no vivos con el medio ambiente, Engels descubre en ellos diferencias de principio. Señala que también los cuerpos inertes pueden transformarse, descomponerse o combinarse a lo largo del proceso natural, pero en tal caso dejan de ser lo que eran: la roca deja de ser roca, el metal se convierte en herrumbre, etc.

Por tanto, la diferencia fundamental entre un organismo y los seres que integran la naturaleza no viviente consiste en que *en los cuerpos inorgánicos los cambios dan lugar a su destrucción, mientras que en los vivos constituyen una condición indispensable para su existencia.*

En realidad, si aislamos un cuerpo inorgánico de la influencia del medio ambiente: oscilaciones de temperatura, humedad, acción del oxígeno, etc., es decir, si eliminamos su intercambio con el medio, este cuerpo no sufrirá prácticamente modificación alguna. Pero, en cambio, si en un albuminoide se interrumpen las transformaciones constantes de sus componentes, la sucesión permanente de asimilación y desasimilación, pondremos fin a su existencia.

Un ser vivo, aislado del medio a que está habituado, no puede subsistir, deja de ser lo que era.

En las diferentes etapas de desarrollo de un organismo, sus necesidades pueden variar de acuerdo con las transformaciones cualitativas o fases que sufre. Por ejemplo, las mariposas carecen de alas en su estado de orugas y disponen de un aparato bucal masticador que les permite nutrirse de alimentos sólidos. En la forma adulta de desarrollo (imago) tienen alas y poseen una trompa con ayuda de la cual se alimentan del néctar de las flores. Las ranas, en la fase de renacuajos, necesitan vivir en el agua, respiran por branquias y se nutren de alimentos vegetales, mientras que al alcanzar el estado adulto les aparecen los pulmones y respiran aire. Las ranas adultas comen ya animales.

La obligatoriedad de la relación con el medio es para los seres vivos condición inherente a su existencia, nutrición y desarrollo en el sentido amplio de la palabra.

Engels considera la esencia de los fenómenos vitales como un proceso de desarrollo del cuerpo vivo, que se basa en el metabolismo y al que dio él el nombre de *autorrenovación*. La autorrenovación de los organismos se lleva a cabo a través de la *asimilación y la desasimilación*. Una y otra son dos facetas del proceso único de metabolismo. La asimilación o anabolismo es la transformación por el organismo de las sustancias exteriores en otras propias de él, su incorporación. La desasimilación, al contrario, es la destrucción de las sustancias orgánicas que forman parte de un cuerpo vivo. Tiene como base los procesos de oxidación y reducción que se operan en el organismo. La desasimilación proporciona la energía necesaria para todos los procesos vitales.

El conjunto de la asimilación y la desasimilación condiciona la vitalidad y el desarrollo del organismo. Por medio del metabolismo el organismo vivo absorbe unas sustancias a las que somete a profundas modificaciones para transformarlas en otras propias de su cuerpo, y elimina otras; así se renueva, crece y se desarrolla. Como consecuencia de una permanente autorrenovación del organismo, en lo viejo se engendra una cualidad nueva. El organismo vivo, vegetal o animal, es en cualquier momento de su vida idéntico a sí mismo y, a la vez, gracias a la asimilación y desasimilación de

sustancias, es diferente. Se producen en él constantemente procesos que dan lugar a cambios cualitativos, característicos de las etapas de su desarrollo: el período embrionario, los de infancia, juventud, pubertad, reproducción, vejez y muerte. En cada una de estas etapas vitales varían para el organismo sus necesidades y sus relaciones con el medio ambiente.

Engels subraya que el metabolismo, que tiene lugar en los organismos vivos por la nutrición y la eliminación, es un proceso *que está condicionado por las propiedades de los albuminoides, agentes de la vida.*

Engels habla *de la función directriz de los albuminoides* en el metabolismo, *de la relación permanente de los organismos con el medio,* de la imposibilidad de su existencia fuera de esta relación.

También expone la tesis de la *plasticidad* de los albuminoides. Del metabolismo y de la plasticidad característica de estas sustancias se desprenden todas las demás propiedades de los seres vivos, como son la *irritabilidad,* respuesta a la acción del medio, que se revela ya en los grados inferiores de desarrollo como una reacción a la comida; la *contractilidad,* sin la cual es imposible ingerir el alimento; el *crecimiento*; el *desarrollo*; la *variabilidad,* es decir, la adaptación al medio; la *herencia,* que fija en las generaciones siguientes las modificaciones logradas, y la *reproducción.* Finalmente, son propias de los seres vivos, como ya se dijo, la *vejez* y la *muerte.*

Las trascendentales tesis enunciadas por Engels han sido confirmadas totalmente por el avance de la ciencia y por los resultados experimentales más modernos. Estas tesis se han convertido en la piedra angular de la teoría biológica michuriniana contemporánea.

COMPOSICION QUIMICA DE LOS ORGANISMOS

El análisis químico de los vegetales y animales muestra que se componen de elementos químicos diversos, aunque no aparece en ellos ninguno que no se encuentre en el medio ambiente. De la misma manera, en la naturaleza inorgánica no existen elementos que no se encuentren en unos u otros organismos. Por ejemplo, las investigaciones de V. I. Vernadski demuestran que en la composición de animales y plantas pueden encontrarse también elementos radiactivos y raros. Se sabe que algunas algas tienen la facultad de acumular en sus células sales de yodo, que el agua del mar contiene en cantidad ínfima.

Se considera corrientemente que de los 101 elementos químicos del sistema periódico de Mendeléiev conocidos hoy día (1955), los de carácter vital más importante son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, potasio, calcio, azufre, fósforo, hierro y magnesio (C, H, O, N, K, Ca, S, P, Fe, Mg).

Los datos expuestos en la página 17 muestran el porcentaje de los elementos químicos que integran el cuerpo humano.

Dichas cantidades no son iguales en los diferentes organismos, lo que indica que su metabolismo es distinto. También pueden ser diferentes los elementos contenidos en los diversos órganos de un mismo ser.

Cuando en la composición de los organismos se encuentran, aunque sea en pequeña proporción, unos u otros elementos (si no son casuales) quiere decir que son necesarios para su vida normal. Por eso, la subdivisión de los elementos en dos grupos, uno el de los necesarios para la vida y otro el

de los que no lo son, es en gran parte convencional. *Importantes para la vida son los elementos necesarios para el desarrollo normal de los organismos, independientemente de su cantidad.*

Nombre del elemento	Por 100
C	65,04
O	18,25
H	10,05
N	2,65
Ca	1,40
P	0,81
K	0,27
Na	0,26
Cl	0,25
S	0,21
Mg	0,04
Fe	0,02

El agua y las sales minerales. Entre las combinaciones químicas que integran los organismos, la *parte principal,* en cuanto al peso, corresponde al *agua.* Generalmente alcanza de un 70 a un 80 por ciento. En el cuerpo de un hombre adulto, el agua constituye ⅔ de su peso. En diferentes órganos, la cantidad de agua puede sufrir grandes oscilaciones. Por ejemplo, el esqueleto contiene 46 por ciento, el cerebro 75, los músculos 76, los riñones 83 y el cristalino 99. La cantidad de agua contenida en el cuerpo de algunos animales puede ser muy elevada, por ejemplo, en los ctenarios la parte seca constituye tan sólo el 2 por ciento; el 98 restante es agua. Las hojas de la ortiga la contienen en un 82,4 por ciento; en las bacterias hay de 74 a 88 por ciento de agua. Sin embargo, la cantidad de este líquido puede ser muy inferior a las cifras medias. En las semillas, oscila entre el 10 y el 14 por ciento.

Al agua le corresponde un importante papel en los procesos vitales. Hay que tener en cuenta que las reacciones químicas y físico-químicas de los organismos se realizan en un medio acuático. El agua posee una serie de propiedades específicas: disuelve fácilmente muchas sustancias inorgánicas y orgánicas; es un líquido neutro, de escasa viscosidad, etc. Además de disolvente de numerosas sustancias, el agua participa activamente en muchas reacciones de intercambio.

La evaporación del agua en la superficie del cuerpo de los animales de sangre caliente tiene gran importancia para mantener constante en él la temperatura.

El agua que encontramos en los organismos puede hallarse en estado libre y no libre. Eso explica el hecho, incomprensible a primera vista, de que órganos tan compactos como los músculos, los riñones, etc., contengan de un 75 a un 80 por ciento de agua.

El organismo de los animales superiores y del hombre no puede soportar la deshidratación; la falta de agua lo mata mucho más rápidamente que la de alimentos. Algunos animales inferiores (rotíferos y tardígrados) pasan por desecación a un estado de anabiosis (véase la pág. 191).

Las *sales minerales* constituyen del 2 al 5 por ciento del peso en seco de los cuerpos vivos. Es sobre todo rico en sales minerales el esqueleto óseo;

forman parte de los huesos el fosfato tricálcico, y también el fosfato de potasio y de magnesio, los cuales están íntimamente relacionados con un producto orgánico, la oseína.

Las sales, al igual que el agua, participan en muchos procesos de intercambio y aseguran la actividad vital normal del organismo. Es especialmente importante el papel de las sales en el desarrollo y crecimiento de los organismos jóvenes. Por ejemplo, sin una cantidad suficiente de sales de K, P y Ca es imposible la formación del esqueleto. Las sales minerales son también necesarias para la existencia de las plantas y los microbios. La fertilidad del suelo depende de la cantidad de K, Ca, P, Mg, Fe, S y de algunos microelementos[2].

La presión osmótica de los líquidos en los tejidos depende de la cantidad de sales minerales que contienen. Estas últimas contribuyen también en alto grado a mantener constantes en el organismo la acidez y la alcalinidad. Las sales influyen asimismo en el estado de los albuminoides. De ellas dependen el grado de humedad, la solubilidad y otras propiedades de estos cuerpos. Para el funcionamiento normal del organismo es necesaria la absorción de un mínimo determinado de sales minerales. Por ejemplo, una persona adulta debe recibir en su ración alimenticia diaria 0,8 gr. de potasio, 2 gramos de fósforo, 6 gr. de sodio, 4 gr. de cloro, 3 gr. de calcio y 0,02 de hierro. Cuando la cantidad de sales minerales ingerida es insuficiente se produce el "hambre de sales", que lleva consigo profundos trastornos en el metabolismo y en otras funciones fisiológicas.

Combinaciones orgánicas, o principios inmediatos orgánicos. Gran cantidad de combinaciones orgánicas integran los tejidos de los organismos vivos. Sin embargo, las más importantes son los *albuminoides, los hidratos de carbono, las grasas y los lipoides, sustancias éstas semejantes a las grasas.*

El carbono forma parte obligatoria de cualquier combinación orgánica. Por eso, las sustancias orgánicas se carbonizan, es decir, se transforman en carbón al calentarlas hasta una temperatura determinada (170° aproximadamente).

Hidratos de carbono. Además del carbono, entran en su composición el oxígeno y el hidrógeno, siendo generalmente la relación entre los átomos de hidrógeno y oxígeno de 2:1, es decir, la misma que en la molécula de agua (H_2O). De ahí el nombre que lleva este grupo de combinaciones orgánicas. En muchos hidratos de carbono el número de átomos de oxígeno y de carbono es igual, como sucede, por ejemplo, en la molécula del azúcar de uva o glucosa $C_6H_{12}O_6$. Semejantes hidratos de carbono son los azúcares simples o *monosacáridos.*

Las moléculas de los monosacáridos pueden unirse entre sí, dando lugar a los *disacáridos* y *polisacáridos.* Al combinarse dos moléculas de glucosa se desprende una de agua. Por ejemplo, el disacárido sacarosa (azúcar de caña) tiene por fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$. Los polisacáridos, a los que pertenecen el almidón, el glucógeno y la celulosa, se forman mediante la combinación de gran número de moléculas de monosacáridos (glucosa, en este caso); su fórmula general es la siguiente: $(C_6H_{10}O_5)n$, donde n es el número variable de moléculas de monosacáridos que integran la molécula del polisacárido.

[2] Microelementos son elementos químicos contenidos en pequeñas proporciones (milésimas por ciento y menos) en los organismos vegetales y animales y en el suelo.

Los hidratos de carbono pueden formar inclusiones celulares: el *almidón* y el *glucógeno*. Se encuentran tanto en la membrana como en los componentes orgánicos complejos del protoplasma. Los hidratos de carbono ocupan un importante lugar en la alimentación del hombre y los animales, y son la fuente principal de la energía necesaria para la actividad vital del organismo. Ocupan del 60 al 70 por ciento aproximadamente de la ración nutritiva del individuo. Diferentes productos vegetales son la fuente fundamental de los hidratos de carbono.

Grasas. Desde el punto de vista químico, las grasas son combinaciones de un alcohol trivalente, la glicerina, con ácidos grasos superiores, los más frecuentes de los cuales son el *oleico*, el *esteárico* y el *palmítico*. De los ácidos grasos que las compongan dependen las propiedades de las grasas y particularmente su punto de fusión. La molécula de grasa contiene oxígeno, hidrógeno y carbono, es decir, los mismos elementos que integran los hidratos de carbono, aunque su proporción es diferente en uno y otro caso.

Las grasas desempeñan un importante papel en el organismo como fuente de energía. Al igual que los hidratos de carbono, pueden quemarse, dando como productos finales CO_2 y H_2O. Pero la combustión de las grasas desprende una cantidad de energía mucho mayor que en el caso de los hidratos de carbono. Si al arder 1 gr. de uno de éstos se desprenden 4,2 cal, 1 gr. de grasa da 9,5 cal.

Las grasas, por ser malos conductores del calor, sirven de aislantes y protegen al cuerpo del animal de pérdidas de calor innecesarias. Pueden acumularse en las células vegetales y animales en calidad de producto alimenticio y energético de reserva.

Lipoides. Son combinaciones de grasas con otras sustancias orgánicas. Los lipoides pueden unirse con los albuminoides, dando lugar a complejos polimoleculares. Se presentan en los núcleos de las células y, a juzgar por algunos datos, pueden también formar parte del protoplasma.

El contenido de lipoides en el tejido nervioso es muy elevado.

Albuminoides. Desempeñan el papel fundamental en el organismo, ya que son los portadores de la vida. Además del carbono, forman parte de las materias albuminoideas, hidrógeno, oxígeno y también nitrógeno, azufre y fósforo; algunas veces hierro (hemoglobina) y magnesio (clorofila).

Como ya hemos señalado, la proporción en que entran los albuminoides en el cuerpo de los organismos es, por término medio, del 50 al 85 por ciento de todas las combinaciones orgánicas. Los albuminoides son combinaciones complejísimas. Forman parte de su molécula diferentes aminoácidos, que se caracterizan por la presencia de grupos funcionales especiales, el carboxilo (-COOH) y las aminas ($-NH_2$). Por ejemplo, el aminoácido alanina tiene por fórmula

$$\begin{array}{l} CH_3 - CH - COOH \\ \quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad\quad NH_2 \end{array}$$

La presencia en la molécula de materias albuminoideas de grupos amínicos y carboxílicos, los primeros de los cuales gozan de la propiedad de *bases* y los segundos de *ácidos*, da a los albuminoides propiedades especiales, determinando su facultad de comportarse como base o como ácido,

según la reacción del medio en que se encuentren. Las combinaciones que gozan de esta propiedad se llaman anfóteras. En la actualidad, se conocen 27 aminoácidos. El sabio ruso A. Y. Danilevski (1888) mostró que algunos aminoácidos son capaces de unirse entre sí mediante el llamado enlace péptico (NH — CO), en que el grupo carboxilo de un aminoácido reacciona con el grupo amínico del otro, desprendiéndose moléculas de agua.

La diversidad de albuminoides se debe a la diversidad y proporción que guardan entre sí los aminoácidos que componen su molécula.

Las materias albuminoideas se caracterizan por *las grandes dimensiones de sus moléculas.* Mientras que el peso molecular de la sal común es de 58 y el de la glucosa 180, el de los albuminoides más simples llega a 12.000. Y aun así, esta cifra representa el límite inferior. En la actualidad han sido aisladas combinaciones albuminoideas con un peso molecular de 5.000.000 y hasta de 15.000.000. Moléculas tan gigantescas las podemos ver y fotografiar con ayuda del microscopio electrónico. Las dimensiones de las moléculas dan a las soluciones de albúmina propiedades características de los coloides.

Propiedades de los coloides.

¿Qué son las soluciones coloidales y en qué se diferencian de las disoluciones corrientes o moleculares? A mediados del siglo pasado había la tendencia de dividir todas las sustancias en dos grupos: *coloides y cristaloides.* Los últimos, el Na Cl por ejemplo, se depositan en forma de cristales al eliminar el disolvente, atraviesan las membranas orgánicas y gozan de otras muchas propiedades. Los coloides no se difunden a través de las membranas; después de la evaporación del disolvente forman gelatinas, etc. Ahora bien, un análisis más detallado demuestra que cualquier sustancia puede adoptar el estado coloidal. Todo depende del grado de división que presente. Los sistemas con partículas superiores a 0,2μ forman las *suspensiones.* Tales partículas son visibles con microscopios corrientes. Si seguimos disminuyendo el diámetro de las partículas hasta valores comprendidos entre 0,1μ y 1 mμ[3], entramos en el campo de las soluciones coloidales. Por último, cuando el fraccionamiento es inferior a 1 mμ, nos encontramos en presencia de las verdaderas soluciones. Por lo tanto, las propiedades de la dispersión de uno u otro cuerpo dependen de las dimensiones de sus partículas.

Toda solución coloidal es *heterogénea.* En ella se distinguen el disolvente, base o *medio dispersante,* en el que están en suspensión las partículas coloidales o micelas, que integran la *fase dispersa.*

¿Por qué las partículas coloidales no se sedimentan y la solución coloidal es estable?

Esto no puede atribuirse únicamente a las pequeñas dimensiones de las partículas, ya que éstas tienen la facultad de unirse en grupos mayores, *aglutinarse.* La estabilidad de las soluciones coloidales se debe a que las partículas están dotadas de cargas eléctricas de igual signo. Se sabe que los cuerpos con igual carga se repelen, por lo que se anula la posibilidad de aglutinación de sus partículas. Si eliminamos la carga, añadiendo, por

[3] Micra = 0,001 mm; mμ (milimicra) = 0,001μ.

ejemplo, un electrólito[4] a la solución coloidal, inmediatamente tendrá lugar la *coagulación,* es decir, la formación de grumos y su sedimentación.

Sin embargo, no todos los coloides se coagulan al neutralizar la carga. Existe un numeroso grupo de ellos, como la gelatina, la goma arábiga, etc., que gozan de dos factores de estabilidad. Uno de ellos es la carga eléctrica; el otro, la presencia de la llamada envoltura acuática, manto de hidratación o capa solvatada. Resulta que las partículas de estos coloides poseen la facultad de atraer las moléculas del disolvente, orientándolas de determinada forma. Dicha envoltura está formada por dos capas: una interior, densa, en la que las fuerzas de atracción se revelan más, y otra exterior, de menor densidad (fig. 1).

Los coloides cuya estabilidad depende no sólo de la carga de las partículas, sino también de la envoltura acuática, son los *hidrófilos,* a diferencia de los *hidrófobos,* cuya estabilidad depende únicamente de la carga. Está claro que los coloides hidrófilos son más estables que los hidrófobos.

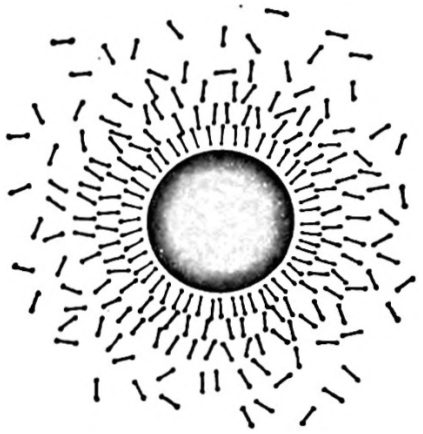


FIG. 1. Estructura de la capa de hidratación alrededor de una partícula de coloide hidrófilo.

Los coloides hidrófilos pueden encontrarse en dos estados diferentes: en forma de solución *—sol—* o de gelatina *—gel—*. El paso de uno a otro estado es reversible. Suele ser ejemplo de ello la solución de gelatina, que al enfriarse pasa al estado gel y al ser calentada se vuelve a convertir en líquido (sol).

Debido a la gran cantidad de partículas minúsculas, los sistemas coloidales presentan en total una superficie enorme, por lo que los fenómenos superficiales juegan en estos casos un importantísimo papel. En la superficie de las partículas tiene lugar la coherencia, la *adsorción* (lat. "ad", "a +" sorbere", tragar). Ello crea condiciones favorables a diferentes reacciones bioquímicas.

También pertenecen al grupo de los coloides hidrófilos los albuminoides, que constituyen la base del protoplasma. Gozan de estas propiedades otras muchas combinaciones que lo integran, y por eso se puede hablar del carácter coloidal del protoplasma. Es evidente que el estudio de las propiedades de los coloides tiene gran importancia biológica.

Bajo la influencia de diversos agentes exteriores (calentamiento, acción de ácidos y bases, radiación con rayos ultravioletas, etc.) tiene lugar la *desnaturación*[5] de las materias albuminoides. Este fenómeno se refleja en la modificación de sus propiedades: disminución de la solubilidad, aumento de la viscosidad y alteración de otras características biológicas. Tales modificaciones parecen estar relacionadas con las transformaciones intramoleculares de los albuminoides. Se distinguen los *albuminoides simples* o *proteínas* (protaminas, histonas, albúminas, globulinas) y *albuminoides compuestos* o *proteídos* que son combinaciones de una proteína con un hidrato de carbono (glucoproteídos), con un lípido (lipoproteídos) o con un ácido nucleico (nucleoproteídos).

[4] Electrólitos (sales, bases, ácidos) son sustancias cuyas soluciones conducen la corriente eléctrica.

[5] Desnaturación (lat. *denaturare*), pérdida de las propiedades naturales.

METABOLISMO

Los albuminoides, hidratos de carbono, grasas, lípidos y otras combinaciones químicas que integran el organismo no están en él en reposo, sino, al contrario, se hallan en estado permanente de inestabilidad, sufriendo cambios y modificaciones. El metabolismo, fundamento de la vida, es un sistema regular de transformaciones que experimentan las sustancias del cuerpo vivo en sus relaciones con el medio ambiente. Este orden se estableció a lo largo del proceso de evolución del mundo orgánico, y por eso sus rasgos fundamentales son comunes a todos los seres vivos. Sin embargo, en su desarrollo ulterior, realizado en condiciones específicas, las diferentes formas orgánicas presentan rasgos típicos en su metabolismo.

En el proceso del metabolismo penetran en el organismo, procedentes del medio, diferentes sustancias, que sufren en él profundas transformaciones, como resultado de las cuales se incorporan al organismo, es decir, se asemejan a las que ya formaban parte de él. Esta faceta del metabolismo, la *asimilación*, está íntimamente ligada a otra opuesta del mismo proceso, la *desasimilación*. En la desasimilación, las sustancias del organismo vivo se descomponen, desprendiendo energía, y son sustituidas por las nuevamente asimiladas. Los productos resultantes de la desintegración son expulsados al exterior.

Además de suministrar la energía necesaria, la desasimilación da lugar a diferentes combinaciones, que el organismo utiliza en las reacciones sintéticas. Las reacciones de desintegración y síntesis, que tienen lugar en el organismo, están estrechamente ligadas entre sí.

Según el tipo de asimilación, los organismos se subdividen en dos grupos fundamentales: *autótrofos* (del griego "autos", uno mismo, y "tropho", nutrir) y *heterótrofos* (del griego "héteros", otro). Los primeros son capaces de sintetizar productos orgánicos a partir de las combinaciones inorgánicas. Este proceso trae consigo la absorción de energía. Los segundos necesitan para nutrirse sustancias orgánicas preparadas, cuyo origen son, directa o indirectamente, las formas autótrofas.

Fermentos. El orden y la coordinación de las reacciones químicas que tienen lugar en el organismo dependen de la actividad de los fermentos (latín "fermentum") o enzimas griego "en", dentro + "zyme", fermento), que son sustancias de naturaleza albuminoidea elaboradas por los seres vivos. En presencia de los fermentos se aceleran en millones de veces las reacciones químicas que se producen en el organismo; por lo tanto, los fermentos son catalizadores biológicos. Casi todas las sustancias que participan en el intercambio tienen que relacionarse con los fermentos. Los fermentos son específicos, cada uno actúa únicamente con carácter selectivo sobre determinadas sustancias, que se caracterizan por unas u otras propiedades de su estructura química. Por ello, todos los organismos disponen de un completo surtido de fermentos, necesarios para el metabolismo. Cada reacción fermentativa consecutiva representa un determinado eslabón en la cadena de transformacions que son la base del metabolismo. Los fermentos se caracterizan por su labilidad (latín "labilis", inestable). Son muy susceptibles a las variaciones de temperatura, a la acción del ambiente, a la luz, etc. La mayoría de los fermentos pierden su actividad (se inactivizan) a la temperatura de 80° a 100°. Ante variaciones de temperatura más débiles,

la disminución de su actividad toma un carácter temporal y reversible. Los fermentos manifiestan su actividad tanto dentro como fuera del organismo.

Una caraterística específica de los fermentos es que son capaces, *según la concentración de la sustancia* sobre la que actúan o la cantidad de agua en el protoplasma, de originar *en unos casos descomposición*, y *en otros, síntesis* de las combinaciones orgánicas; su acción es reversible.

El nombre de los fermentos lo determina el de las sustancias sobre que actúan (lipasas, que descomponen las grasas; proteinasas, las proteínas, etc.). Los fermentos se dividen en tres grandes grupos:

1. Fermentos de descomposición *hidrolítica*, que desdoblan determinadas sustancias incorporando agua (o el proceso contrario de síntesis). Por ejemplo, las lipasas descomponen y sintetizan las grasas; las carbohidrasas actúan sobre los hidratos de carbono; las proteasas, sobre los albuminoides, etcétera.

2. Fermentos de descomposición *no hidrolítica*. Pertenecen a este grupo los glicolíticos: los fermentos del alcohol, de la leche agria, etc.

3. Fermentos *oxidantes-reductores*, que intervienen en los procesos de respiración tisular.

METABOLISMO EN LOS ORGANISMOS AUTOTROFOS

Fotosíntesis. En la nutrición autótrofa, lo más extendido, y al mismo tiempo más importante, es la fotosíntesis, proceso de asimilación de carbono de las plantas verdes, que se realiza con la participación de la luz. En la fotosíntesis se utiliza el anhídrido carbónico del aire en parte, del suelo, y también el agua que absorben las raíces. Al combinar anhídrido carbónico y agua y producir compuestos orgánicos —hidratos de carbono—, las plantas enriquecen de oxígeno el aire.

La fotosíntesis es un proceso extraordinariamente complejo. Se conocen con seguridad únicamente sus productos iniciales y finales. El cálculo cuantitativo de los hidratos de carbono formados par la planta y el oxígeno eliminado durante la fotosíntesis permiten representarnos este proceso mediante la fórmula:

$$6CO_2 + 6H_2O + 674 \text{ K cal} = C_6H_{12}O_6 \text{ (glucosa)} + 6O_2$$

En esta reacción se consumen 674 K cal. de energía solar, necesaria para que la reacción tenga efecto.

La fotosíntesis únicamente puede realizarse en las células de las partes verdes de las plantas, que contienen un pigmento especial, la *clorofila*.

K. A. Timiriázev fue el primero en estudiar el proceso de la fotosíntesis con un criterio materialista. Sus extraordinarias investigaciones constituyen la base en que se funda el actual concepto de este fenómeno, tan importante para la vida. El fruto de muchos años de trabajo lo expuso en sus obras *La vida de las plantas, El Sol, la vida y la clorofila*, y en numerosas conferencias y memorias.

Timiriázev quiso aclarar el origen de la energía necesaria para producir las sustancias orgánicas en las hojas verdes de la planta. Los vitalistas veían en ello la manifestación de una fuerza vital específica e inmaterial. Afir-

maban que en la fotosíntesis no rige la ley de la transformación de la energía. Timiriázev demostró que la fotosíntesis se realiza a expensas de la energía de los rayos solares. Descubrió y estudió no sólo la parte cualitativa del proceso, sino también la cuantitativa. A este efecto construyó aparatos de gran sensibilidad, no superados ni siquiera hoy día, y con su ayuda estableció la posibilidad de aplicar integralmente a la fotosíntesis el principio de la conservación de la energía. Estudió la influencia de las diferentes partes del espectro solar en la intensidad del proceso creador de las sustancias orgánicas de las plantas, demostrando que la fotosíntesis alcanza su máximo en la zona *roja* del espectro, entre las líneas B y C. El segundo máximo se encuentra en la región *azul-violeta*. Basándose en sus experimentos, Timiriázev calculó incluso el porcentaje de utilización por las plantas de la energía solar recibida: tan sólo una pequeña porción de esta última (cerca del 3 por ciento) la utilizan las plantas; por lo tanto, hay posibilidades de seguir aumentando las cosechas, descubriendo procedimientos para elevar la intensidad de la fotosíntesis.

La energía de los rayos solares, acumulada por las plantas, la utilizan después los organismos animales para los procesos de su actividad vital, y el hombre en beneficio de la técnica. En ello reside, según Timiriázev, el papel cósmico de las plantas. "La planta —escribía— es un intermediario entre el cielo y la Tierra. Es un verdadero Prometeo, que le robó el fuego al cielo. El rayo de luz absorbido por la planta arde en la astilla que lanza un pequeñísimo destello y en la deslumbrante chispa eléctrica. El rayo solar pone en movimiento el colosal volante de la gigantesca máquina de vapor, el pincel del artista y la pluma del poeta".[6]

Timiriázev prestó gran atención al estudio de las propiedades de la clorofila. En las células de las plantas, la clorofila está unida a los albuminoides, con los que da lugar a una compleja combinación orgánica de peso molecular 265.000.

En los últimos años se han alcanzado importantes éxitos en el conocimiento de la parte más íntima del proceso de fotosíntesis, éxitos que se deben, en primer lugar, a los trabajos de los hombres de ciencia soviéticos.

A. P. Vinográdov ha establecido, mediante el método de los isótopos marcados, que el oxígeno que queda libre en la fotosíntesis proviene de la descomposición del agua por medio de la luz, de la *fotólisis*. El hidrógeno del agua sirve para la reducción del anhídrido carbónico. En una etapa determinada de la fotosíntesis, la clorofila, que es el acceptor del hidrógeno, lo fija.

Los experimentos con el carbono marcado (C^{14}) han permitido establecer que el anhídrido carbónico que penetra en las células de la hoja verde se une primero a las moléculas orgánicas. Lo que se reduce no es el CO_2, sino el grupo carboxílico (COOH) de la molécula orgánica. Es posible que el agua, antes de su fotólisis, forme también parte de las combinaciones orgánicas.

Según los datos más recientes, la fotosíntesis incluye: primero, la fotólisis del agua con desprendimiento de oxígeno y fijación de hidrógeno por parte de la clorofila; segundo, el traslado del hidrógeno del agua al anhídrido carbónico, y tercero, la reducción de este último, formando los pro-

[6] K. A. Timiriázev, *Obras escogidas*, t. II, 1948, págs. 382-383.

ductos intermedios y finales de la fotosíntesis. Respecto de los primeros es muy poco lo que sabemos; el producto final de la fotosíntesis es la glucosa y su polímero, el almidón.

Quimiosíntesis. También poseen un metabolismo autótrofo una serie de organismos vegetales que carecen de clorofila, y en primer lugar las bacterias. En este caso, la fuente de energía que origina combinaciones orgánicas a partir de las inorgánicas no son los rayos solares, sino *reacciones químicas,* que tienen lugar en el cuerpo de las bacterias y van acompañadas de desprendimiento de energía. A esta clase de metabolismo autótrofo se le da el nombre de *quimiosíntesis.*

La quimiosíntesis fue descubierta en 1889 y estudiada detalladamente en una serie de seres por el microbiólogo ruso S. N. Vinogradski, que se ocupó de la vida y del metabolismo de las bacterias conocidas con el nombre de *ferrobacterias, sulfobacterias* y *nitrobacterias.* Las primeras transforman en trivalentes las sales de hierro bivalentes, y con la energía que queda libre originan hidratos de carbono.

Las *sulfobacterias oxidan el ácido sulfhídrico* resultante de la putrefacción de los residuos orgánicos o que se desprende en otros procesos, dando como resultado azufre libre, según la fórmula:

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + S_2$$

En esta reacción, por cada molécula-gramo de ácido sulfhídrico se liberan 115 K cal. El azufre se acumula en forma de granulitos en el cuerpo de las bacterias y en ausencia de ácido sulfhídrico puede oxidarse hasta formar ácido sulfúrico

$$S_2 + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4.$$

Las sulfobacterias contribuyen en alto grado a la limpieza de los embalses. Gracias a ellas, el ácido sulfhídrico que se acumula en las profundidades del Mar Negro no se eleva por encima de los 200 m. de profundidad, pues lo descompone una potente capa de bacterias.

Son sobre todo abundantes las *nitrobacterias.* Una parte de ellas transforma el *amoníaco en ácido nitroso* (bacterias nitrosas):

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O + 148 \text{ K cal.}$$

Otras oxidan el *ácido nitroso a nítrico* (bacterias nítricas):

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3 + 48 \text{ K cal.}$$

Gracias a estas reacciones químicas las bacterias producen sustancias orgánicas. La actividad de las nitrobacterias que habitan en el suelo tiene enorme importancia para el ciclo metabólico del nitrógeno en la naturaleza y para la fertilidad de la tierra.

Además de los microorganismos arriba mencionados existen otros llamados *hidrogenófilos,* que utilizan en las combinaciones orgánicas la energía de la oxidación del hidrógeno.

La fotosíntesis y la quimiosíntesis de los organismos vegetales dan lugar

a los hidratos de carbono. Las plantas sintetizan las grasas, principalmente, a partir de los hidratos de carbono. Las grasas se acumulan sobre todo en las semillas. Además de hidratos de carbono y grasas las plantas sintetizan aminoácidos a partir de la glucosa y las sales del ácido nítrico que obtienen del suelo, y con ellos, los *albuminoides.*

METABOLISMO EN LOS ORGANISMOS HETEROTROFOS

Todos los animales, el hombre y parte de los vegetales (los hongos y algunas bacterias, por ejemplo) son organismos heterótrofos, capaces de sintetizar sustancias orgánicas a partir de combinaciones orgánicas. Para ello utilizan el material ya preparado, sintetizado previamente por los organismos autótrofos.

En el aparato digestivo de los animales, los albuminoides, grasas e hidratos de carbono que contienen los alimentos son objeto de la acción de los *fermentos.*

Entre los *fermentos digestivos* figuran: la *amilasa,* que descompone el almidón; la *pepsina* y la *tripsina,* que descomponen los albuminoides en aminoácidos.

Bajo la acción del jugo gástrico, en cuya composición entran la pepsina y el ácido clorhídrico, los albuminoides se transforman en peptonas. En el intestino delgado, la tripsina (fermento de la secreción del páncreas) descompone estas últimas en distintos aminoácidos, que son absorbidos por las paredes del intestino, yendo a parar a la sangre. Dentro de las células, a partir de los aminoácidos vuelven a formarse albuminoides, de estructura específica, característica de cada clase de organismo.

A *los hidratos de carbono,* en particular el almidón, los *descompone* la amilasa de la saliva y otros fermentos digestivos, convirtiéndolos en un *monosacárido,* la glucosa, y en tal estado son absorbidos por la pared del intestino. De la sangre, va a parar la glucosa a las células, donde es consumida en los procesos vitales, o bien se acumula en forma de glucógeno, almidón animal. La glucosa puede dar lugar también a la síntesis de las grasas. El hígado, que viene a ser como una especie de depósito de hidratos de carbono, es especialmente rico en glucógeno.

El glucógeno no es exclusivo de las células de diferentes animales; se encuentra también en algunos vegetales, como los hongos.

Las *grasas* que llegan al intestino son convertidas primero, bajo la influencia de la bilis, en una fina emulsión; después, la *lipasa,* fermento contenido en el jugo pancreático, las descompone en sus partes integrantes: *glicerina* y *ácidos grasos.* Estos vuelven a originar, parte en las paredes del intestino y parte en los vasos linfáticos, gotitas de grasa, que a través del gran canal torácico (un vaso linfático) van a parar a la sangre, la cual la distribuye por todo el cuerpo. La grasa puede acumularse como material de reserva en el tejido celular subcutáneo, el epiplón y otros órganos internos. Los animales poseen la facultad de producir sus grasas específicas.

Es necesario resaltar que las células de los animales pueden transformar *las grasas en hidratos de carbono,* y viceversa. Eso explica el hecho de que al alimentar animales, los cerdos por ejemplo, con patatas u otra comida que contenga hidratos de carbono, engorden, es decir, acumulen grasa en el tejido celular subcutáneo.

Los organismos heterótrofos no son capaces de sintetizar albuminoides a partir de las grasas o los hidratos de carbono. Por eso, la ración alimenticia debe contener necesariamente un mínimo determinado de albúmina, sin el cual, incluso con una alimentación abundante, se produce una falta de estos principios, dando lugar a que se consuman los del organismo. La necesidad de albuminoides varía con la edad, la temperatura del medio y otras condiciones.

También entre las plantas existen formas heterótrofas. Por ejemplo, las bacterias y los hongos necesitan para su desarrollo y crecimiento combinaciones orgánicas preparadas. Si se nutren del substrato orgánico inerte se llaman *saprofitos.* Los que además utilizan el material orgánico de otro ser vivo constituyen los *parásitos.*

Es curioso señalar que en las *plantas insectívoras* (droseras, nepentes, etc.), autótrofas en lo fundamental, como lo demostró *Darwin,* los productos nutritivos de los insectos que capturan y digieren son un suplemento a su ración.

La presencia entre las plantas de organismos heterótrofos es una prueba de la unidad del mundo de los seres vivos. Lo demuestra también el hecho que algunos organismos inferiores, como los flagelados o mastigóforos, sean capaces, según las condiciones, de un metabolismo ya autótrofo, ya heterótrofo.

OXIDACION BIOLOGICA

La energía necesaria para el metabolismo y otros procesos vitales la obtienen los organismos vivos por la desasimilación, la base de la cual la constituyen procesos de oxidación y reducción.

En la actualidad, se considera la oxidación como la pérdida de un electrón por la molécula o el átomo de la sustancia oxidada, y la reducción como la adquisición de un electrón. La oxidación de una sustancia va unida a la reducción de otra; ambos procesos están tan íntimamente relacionados entre sí que no se pueden separar.

Por ejemplo, en la combustión de la glucosa

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 674.000 \text{ cal.}$$

este compuesto orgánico se oxida hasta producir anhídrido carbónico; al mismo tiempo el oxígeno se reduce y da agua.

Las principales formas de desasimilación son la *respiración,* en la que participa el oxígeno libre, y la *fermentación,* que se realiza sin oxígeno.

La respiración es típica de muchos organismos animales y vegetales. Se produce mediante la oxidación de los hidratos de carbono, las grasas o los albuminoides.

Al respirar los productos orgánicos se oxidan, dando como resultado anhídrido carbónico y agua, con la liberación de toda la energía contenida.

Los organismos en que la oxidación se verifica con el concurso del oxígeno libre (de la atmósfera o disuelto en el agua) se llaman *aerobios.* La respiración puede estar a cargo de toda la superficie del cuerpo (respiración difusa o cutánea) o bien de órganos respiratorios específicos (tráqueas, branquias, pulmones).

Las plantas, lo mismo que los animales, respiran durante las veinticuatro horas del día, aunque lo hacen con especial intensidad por la noche.

Los productos finales de la respiración son en todos los organismos el anhídrido carbónico y el amoníaco. Los animales expulsan estos productos, neutralizando previamente en el interior del organismo el amoníaco, que es eliminado en forma de urea o ácido úrico. Los vegetales consumen el anhídrido carbónico parcialmente y el amoníaco totalmente en el proceso de síntesis de la materia orgánica.

La fermentación es un proceso de profunda descomposición de los cuerpos orgánicos bajo la acción de los correspondientes fermentos.

Los organismos que pueden prescindir del oxígeno libre se llaman *anaerobios.*

La fermentación no conduce nunca a la total oxidación de las materias orgánicas. Lo característico en ella es que forma productos en que la combustión ha sido incompleta; así, pues, no queda libre toda la reserva de energía de que disponen. Es un proceso exotérmico, es decir, realizado con desprendimiento de calor. En este caso, el origen de la actividad vital es la energía calorífica. Son un ejemplo de organismos anaerobios las levaduras, que obtienen la energía necesaria al descomponer el azúcar; los productos de esta descomposición son el alcohol y el anhídrido carbónico. Otro grupo de microbios descomponen la glucosa, formando ácido láctico, ácido oleico, ácido acético, etc.

Una forma especial de fermentación es la glicólisis, que se observa en los músculos de los animales superiores. Este proceso es muy complejo, con gran número de etapas intermedias.

VITAMINAS

Las vitaminas, descubiertas en 1880 por el sabio N. I. Lunin, tienen singular importancia en el metabolismo del organismo. Las vitaminas (del latín *vita,* vida) son productos orgánicos, que el hombre y los animales necesitan en pequeñas dosis, ya que a su cargo corre la catálisis de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el organismo. Muchas de ellas forman parte de los fermentos, combinadas con los albuminoides.

La falta de vitaminas en el organismo origina graves trastornos. Por regla general, las vitaminas llegan a los organismos animales desde el exterior. Se forman con preferencia en las células de los vegetales, aunque también los animales pueden sintetizar en sus órganos algunas de ellas. En la actualidad se conocen alrededor de treinta, de las cuales diez han sido obtenidas por vía sintética. Las vitaminas se dividen comúnmente en dos grupos: hidrosolubles (solubles en agua) y liposolubles (solubles en grasas).

Los trastornos del organismo debidos a la falta de vitaminas se denominan *avitaminosis;* cuando se trata de enfermedades ocasionadas por insuficiencia de estos productos orgánicos tenemos la *hipovitaminosis.*

Las vitaminas se denominan, bien utilizando las letras del alfabeto (A, B, C, D, E, K, etc.), bien según su estructura química (ácido l-ascórbico, riboflavina, etc.), o también con el nombre del proceso patológico que combaten (antirraquítica, antiescorbútica, etc.).

A continuación enumeramos las vitaminas más importantes.

Pertenecen al grupo de las *hidrosolubles* las vitaminas B_1, B_2, B_{12}, PP, C y otras. La vitamina B_1 o *tiamina,* se encuentra en la cáscara de las semillas de las gramíneas, y también en la levadura de cerveza. La avitaminosis de B_1 produce una grave enfermedad del sistema nervioso, la *polineuritis* o beriberi (inflamación de las fibras nerviosas, fig. 2). Origina graves parálisis, enfermedades cardíacas, trastornos en el metabolismo hídrico, etc. Esta enfermedad está muy extendida en los países en que el alimento principal es el arroz descascarillado.

El organismo necesita la vitamina B_2 para la producción de fermentos oxidantes-reductores. Su insuficiencia en la alimentación produce la *detención del crecimiento* y alteraciones en la vista (inflamación de la córnea, pérdida de transparencia del cristalino, etc.). Abunda sobre todo esta vitamina en las levaduras, los derivados lácteos (leche cuajada) y en el hígado.

En los últimos años ha sido objeto de gran interés la vitamina B_{12}, que es un potente factor en la curación de la anemia. Por eso se le ha dado el nombre de antianémica. Se extrae del hígado de los animales.

La vitamina PP o *ácido nicotínico* elimina los síntomas de la *pelagra,* grave enfermedad que produce un enrojecimiento y aspereza en la piel de las zonas no cubiertas por la ropa (muñecas, cuello, etc.) (fig. 3); también origina trastornos en el funcionamiento de diferentes órganos (diarrea, ptialismo, etc.). Son ricas en vitaminas PP la levadura, el salvado de arroz y el hígado.

La falta o insuficiencia en la comida de vitamina C (ácido I-ascórbico) y de vitamina P (citrina) da lugar al escorbuto: las paredes de los vasos sanguíneos se hacen frágiles, por lo que son frecuentes las hemorragias subcutáneas locales, entre ella las gingivales, por debilitación de las encías (fig. 4); se caen los dientes; los trastornos de los órganos internos pueden causar la muerte.

Con una alimentación rica en las correspondientes vitaminas, estos síntomas desaparecen.

Pertenecen al grupo de las *liposolubles* las vitaminas A, D_2, E y K, que ejercen un importante papel en la actividad vital del organismo humano.

La insuficiencia o la carencia de vitamina A produce una *queratinización* anormal del epitelio (uretra, pulmones, etc.); es frecuente la *ulceración de la córnea* (xeroftalmia). Uno de los primeros síntomas de la hipovitaminosis A puede ser la *hemeralopia,* enfermedad consistente en la pérdida de la capacidad del ojo para adaptarse a diferentes intensidades de luz.

En la avitaminosis A se observan: disminución de la capacidad de resistencia del organismo a las enfermedades infecciosas, alteraciones degenerativas del sistema nervioso y otros trastornos graves.

La vitamina A existe sólo en los productos animales: en las plantas hay un pigmento, el caroteno, que es la previtamina A.

Abunda, sobre todo, la vitamina A en el hígado y en el aceite de hígado de bacalao y de atún; son ricos en caroteno los albaricoques, las espinacas y también la zanahoria y los pimientos encarnados.

La vitamina D o *antirraquítica* cumple una importante función en el desarrollo normal de los organismos. Su falta origina el raquitismo, enfermedad caracterizada por *trastornos óseos;* disminuye la cantidad de calcio y fósforo en los huesos; éstos se decalcifican y reblandecen. Los niños raquíticos tienen las piernas torcidas, los huesos del cráneo se desarrollan de forma anormal, etc. (fig. 5).

La vitamina D puede sintetizarse, irradiando con rayos ultravioleta las ergosterinas, lipoides que se encuentran en el tejido cutáneo. El raquitismo infantil se previene con una vida al sol, en habitaciones claras, secas y bien aireadas.

Contienen mucha vitamina D el aceite de hígado de bacalao, especialmente cuando es sometido a la acción de los rayos ultravioleta, la yema de huevo y la mantequilla.

La vitamina E o antiestéril es un producto graso. La falta o insuficiencia en la alimentación de los animales (ratas, conejos) trae consigo la infecundidad. Al principio se

observa en las hembras preñadas un retraso en el desarrollo del feto; después ,su reabsorción completa. En los casos de avitaminosis E, se presentan trastornos degenerativos de los canales testiculares, con el consiguiente cese en la formación de espermatozoides.

FIG. 2. Indonesio enfermo de beriberi.

FIG. 3. Pelagra. Trastornos de la piel.

La vitamina E es de origen vegetal. Abunda en las hojas de las plantas (lechuga, perejil). También se ha encontrado en gran cantidad en el germen del trigo y de otros vegetales y en el hígado de los animales.

La acción de la vitamina E no se limita a la fecundidad; también se refleja en el sistema nervioso y los músculos. En una serie de casos, se utiliza con éxito en el hombre.

Actualmente atraen la atención de los hombres de ciencia las vitaminas del grupo K (K_1, K_2, K_3). La falta de la vitamina K en los polluelos origina hemorragias sanguíneas, relacionadas con una disminución de la coagulabilidad de la sangre. La vitamina K_1 se produce en las partes verdes de los vegetales; abunda en los cloroplastos. Las vitaminas K_2 y K_3 son productos de la actividad vital de las bacterias; las sintetiza, por ejemplo, la microflora intestinal.

CIRCULACION DE LAS SUSTANCIAS EN LA NATURALEZA

Entendemos por circulación de las sustancias los procesos de transformación de los productos en la tierra, procesos que se repiten con un carácter cíclico más o menos acusado. Hay que tener en cuenta que los ciclos no se repiten por completo, sino que siempre presentan unas u otras modificaciones. Por eso, la circulación de las sustancias en la naturaleza no puede ser considerada como un movimiento cíclico.

Los procesos que se realizan tienen un carácter progresivo.

En la naturaleza observamos la interacción de diferentes organismos; puede ser compleja y unir en una cadena de transformaciones la actividad

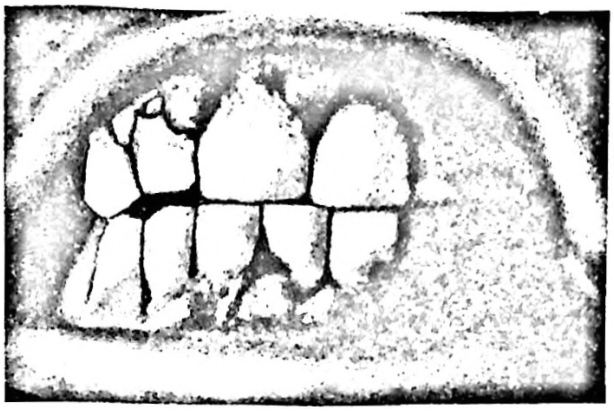


FIG. 4. Encías atacadas de escorbuto.

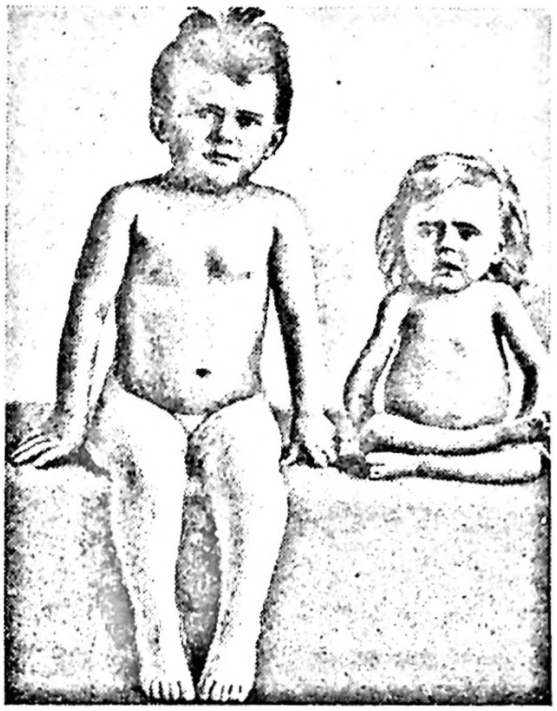


FIG. 5. Influencia de la vitamina D en el crecimiento. A la izquierda, niño sano; a la derecha, niño de la misma edad enfermo de raquitismo.

de muchos de ellos, dándose el caso que *los productos de la actividad vital de un grupo de seres vivos pueden ser utilizados por otro grupo de organismos.* Semejante interacción tiene lugar, por ejemplo, en la descomposición de sustancias orgánicas muertas por los microorganismos. En la actualidad se conocen los caminos que siguen en su transformación las combinaciones orgánicas, hasta llegar a su total mineralización. La destrucción en la naturaleza de los productos orgánicos es un proceso biológico, que se produce por la acción de microorganismos *aerobios* y *anaerobios.*

El componente principal de las sustancias orgánicas, el *carbono,* se encuentra en la atmósfera y en el suelo en forma de anhídrido carbónico, que las plantas autótrofas utilizan para elaborar, con ayuda de la energía solar absorbida por sus órganos verdes, los compuestos orgánicos. Parte de ellos los utilizan los propios vegetales en la desasimilación (respiración, fermentación); en este caso, el anhídrido carbónico es expulsado a la atmósfera. La mayor parte de los productos orgánicos sintetizados se acumula en el cuerpo de las plantas en forma de hidratos de carbono; también participan en la síntesis de las grasas y los albuminoides. Las plantas sirven de alimento a los animales herbívoros y éstos a los carnívoros. En el organismo de los animales, estos productos, objeto de una oxidación biológica parcial, son utilizados en calidad de material energético en la desasimilación. El anhídrido carbónico es también, en este caso, expulsado a la

atmósfera. Con los productos de descomposición de las sustancias ingeridas, los animales sintetizan, con ayuda de la energía liberada, las diversas combinaciones orgánicas (hidratos de carbono, grasas, albuminoides), pero ya específicas para sus organismos. Los productos de secreción

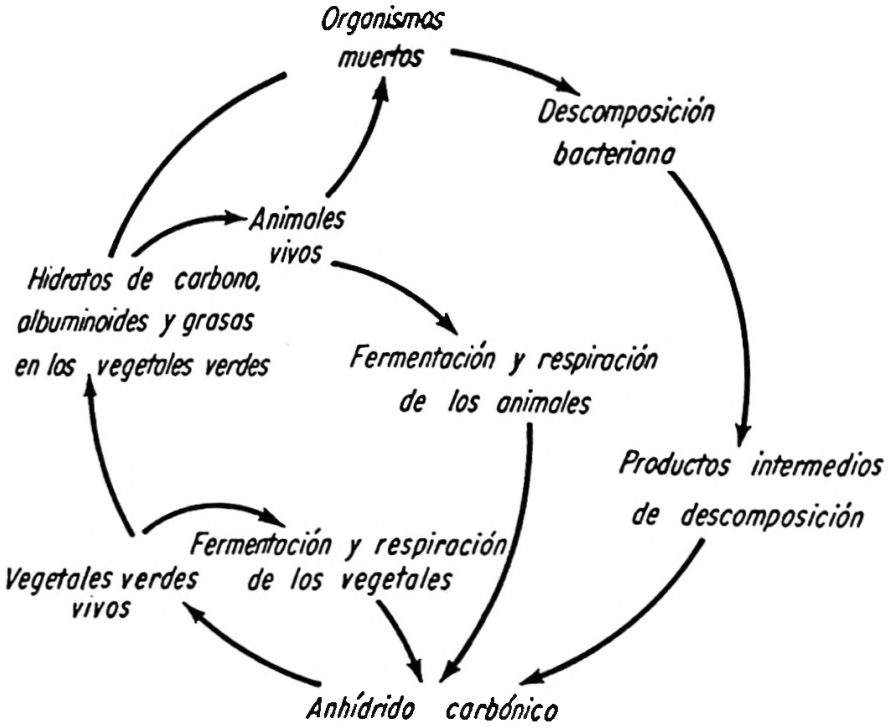


Fig. 6. Ciclo del carbono en la naturaleza (esquema).

de los animales, sus cadáveres y también las plantas muertas sufren la descomposición bacteriana, en el proceso de la cual se libera el carbono, que pasa a estado gaseoso (CO_2) (fig. 6). El proceso de la descomposición bacteriana de la celulosa ha sido estudiado por V. A. Omelianski, que ha podido establecer la suerte corrida por los residuos vegetales, acumulados en la superficie de la tierra en enormes cantidades. La celulosa de las plantas y los restos de plantas fósiles (carbón de piedra) los quema el hombre para cubrir las necesidades de su vida y con fines industriales. El anhídrido carbónico originado también va a parar a la atmósfera. La mayor parte de esta sustancia es biogénica, es decir, es producto de la actividad vital de los organismos, y tan sólo una pequeña parte proviene de las reacciones que tienen lugar en el subsuelo y luego sale a la superficie.

El *oxígeno* de la atmósfera es también, en lo fundamental, del mismo origen (biogénico) y se forma, como hemos visto, en el proceso de fotosíntesis. Para la respiración, los animales y las plantas utilizan el oxígeno oxidando con él los compuestos orgánicos. Unido al carbono, llega a la atmósfera en forma de anhídrido carbónico, pasando luego al suelo y después, nuevamente, al organismo de los vegetales verdes.

Son de gran interés las investigaciones que se ocupan de las transformaciones del *nitrógeno*. Este representa el 78 por ciento de la atmósfera, pero

debido a su inercia química no se combina con otros cuerpos, y de ahí que no lo puedan utilizar los organismos superiores. Solamente durante las tormentas puede oxidarse el nitrógeno bajo la acción de las descargas eléctricas, dando lugar a ácido nitroso, que va a parar al suelo. La fuente

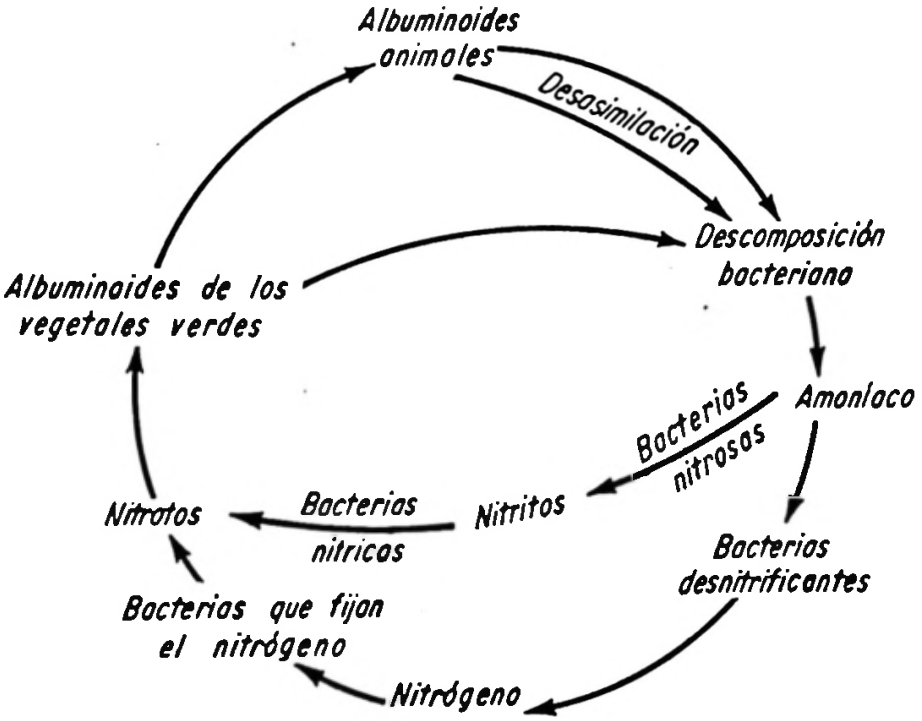


FIG. 7. Ciclo del nitrógeno en la naturaleza (esquema).

principal de nitrógeno en la alimentación de los vegetales superiores son los nitratos (sales del ácido nítrico). El suelo contiene una cantidad limitada de nitratos, que continuamente son consumidos en la alimentación de las plantas. El nitrógeno vuelve a la tierra con la orina y los excrementos, y también con los cadáveres de animales y restos de vegetales. De ahí la importancia que tiene el establecer cómo se verifica la mineralización del nitrógeno de las sustancias orgánicas. Se sabe que el nitrógeno se desprende en *forma de amoníaco* (NH_3) en la descomposición de los albuminoides, como resultado de la actividad de las bacterias aerobias.

El amoníaco sufre en el suelo una serie de transformaciones, producto final de las cuales es el ácido nítrico. El proceso de transformación del amoníaco en ácido nítrico se llama *nitrificación*. Las investigaciones de S. N. Vinogradski han aclarado los procesos de la nitrificación (ver pág. 42). Tiene enorme importancia el hecho, establecido por S. Vinogradski, de que tanto los microorganismos nitrosos como los nítricos son muy sensibles a la presencia de sustancias orgánicas en el ambiente. Las bacterias nitrificantes sólo pueden integrar su organismo a base de sustancias minerales. Toman el carbono del anhídrido carbónico de la atmósfera, y a partir de él construyen la materia orgánica, utilizando la energía de oxidación de los compuestos que contienen nitrógeno.

El proceso de transformación del nitrógeno en la naturaleza es más complicado que el de la nitrificación. No todo el nitrógeno de los cuerpos orgánicos se libera en forma de amoníaco. En la descomposición anaerobia de los productos orgánicos, parte del nitrógeno se desprende en estado libre. Además, el ácido nítrico es descompuesto en el suelo por los microorganismos *desnitrificantes,* formándose también nitrógeno libre. Se suponía ya desde hace tiempo la existencia de *microorganismos capaces de asimilar el nitrógeno atmosférico.* Semejantes microorganismos, descubiertos también por S. Vinogradski, son *anaerobios obligatorios;* viven en el suelo únicamente en compañía de microorganicmos aerobios, que los protegen de la acción del oxígeno del aire cuyo nitrógeno asimilan. El nitrógeno gaseoso lo asimilan también algunas bacterias aerobias. Las bacterias radicícolas, que viven en simbiosis con las leguminosas y forman engrosamientos o nudosidades en sus raíces, son también capaces de asimilar el nitrógeno de la atmósfera; por eso, el cultivo de las leguminosas proporciona al suelo combinaciones ricas en nitrógeno (fig. 7).

Hemos estudiado únicamente la circulación de algunos elementos. Procesos semejantes exprimentan también los otros.

Para investigar un proceso tan complicado como éste es preciso descomponerlo en sus eslabones y estudiar las transformaciones que experimenta cada uno de los elementos. Sin embargo, tal descomposición conduce a la idea de la circulación de los elementos como transformaciones que se operan en un círculo cerrado. Para comprender el proceso en su totalidad y en cada una de sus partes, es necesario tomar el fenómeno con toda su complejidad y todas sus interdependencias.

De las transformaciones de los cuerpos orgánicos, complejo cuadro de la circulación biológica, trata la obra de V. R. Williams *Fundamentos de Edogología.* En su estudio del proceso de estructuración del suelo, Williams pone en claro las complejísimas relaciones e interdependencias que se observan entre los organismos y las condiciones en que viven. En la naturaleza, indica, ni los organismos ni el medio ambiente son invariables; sus relaciones originan un *proceso regular de desarrollo, de paso a grados superiores, de aparición de nuevas cualidades,* mediante la acumulación de pequeños cambios, imperceptibles al principio.

Como demostró V. I. Vernadski, el comienzo de la vida en la Tierra transformó radicalmente la faz de nuestro planeta y su clima. Las condiciones actuales se deben, en el sentido estricto de la palabra, a la actividad de los organismos, del mismo modo que todos los organismos que existen hoy día deben su existencia a las condiciones de vida.

El hombre modifica también las condiciones en que vive. El desarrollo de las fuerzas productivas acrecienta sin cesar la influencia sobre el medio de la actividad económica del hombre.

ORIGEN DE LA VIDA EN LA TIERRA

El problema del origen de la vida en la Tierra, de cuál es la procedencia y de cómo se formaron los primeros organismos vivos, preocupa desde hace mucho tiempo a los hombres. Hace ya miles de años que éstos trataron de encontrarle respuesta. Durante muchos siglos, alrededor de este proble-

ma lo mismo que en torno a otros problemas capitales de la Biología, no ha cesado la irreductible lucha entre el materialismo y el idealismo.

Transcurrió largo tiempo sin que se tuvieran los datos más importantes para resolver acertadamente, desde un punto de vista materialista, esta cuestión. Bastará recordar que hasta fines del siglo XVIII no se dio por primera vez al origen de la Tierra una interpretación científica; la primera síntesis de las combinaciones orgánicas más simples se realizó en la mitad primera del siglo XIX; la estructura de los albuminoides se ha llegado a conocer tan sólo en los últimos años. Unicamente en posesión de estos y otros muchos datos fueron posibles los intentos de edificar una teoría verdaderamente científica del origen de la vida, teoría que es uno de los éxitos de la ciencia soviética.

La religión suele utilizar para sus fines los problemas a los cuales no puede dar solución la ciencia. De ahí que, en las cuestiones relativas al origen de la vida, hayan sido muy poderosas toda clase de teorías teológicas creacionistas[7], toda clase de leyendas de carácter mitológico y fantástico. Hasta no hace mucho se mantenía en esta esfera el vitalismo, desplazado de otras ramas de las ciencias naturales por la luz de la verdad científica.

Al mismo tiempo, este ejemplo sirve para ilustrar claramente cuál ha sido el difícil y a veces tortuoso camino seguido por la ciencia; cómo a través de las barreras de la superstición y los prejuicios se ha abierto camino la verdad; cómo, paulatinamente, la ignorancia ha ido retrocediendo ante los precisos datos de la ciencia. Junto a las conjeturas idealistas y religiosas se emitían diferentes teorías materialistas, que al principio eran de una gran simplicidad.

Teoría de la generación espontánea.

En la antigüedad, debido al casi total desconocimiento de la naturaleza, de los procedimientos y modos de reproducción de los animales y las plantas, apareció la teoría de la generación espontánea de los seres vivos, incluso de los muy complicados, a partir de un material inorgánico no viviente.

Se consideraba que de la tierra podían formarse gusanos, serpientes, topos, ratones; del limo, ranas y peces; de los restos orgánicos en descomposición, insectos. Es así como se explicaba, por ejemplo, la aparición en el valle del Nilo de los roedores, verdadero azote de la población de Egipto.

Uno de los creadores de la teoría de la generación espontánea fue Aristóteles. El sabio griego comprendía de un modo materialista la generación de los seres vivos y afirmaba con toda la razón la posibilidad de transformar la materia no viviente en seres vivos. Sin embargo, no era consecuente en su comprensión de la naturaleza viva y recurría para explicarla a un principio inmaterial, a un objetivo interno, la "entelequia".

En el Renacimiento se va poniendo en claro que animales como los ratones, serpientes y peces proceden solamente de otros semejantes a ellos; eso no quita para que estuviesen muy extendidas las historias más fantásticas e inverosímiles. Por ejemplo, se consideraba demostrado de manera incon-

[7] Del vocablo latino *creatio*, creación. El creacionismo es una teoría idealista, que explica el origen del mundo como un acto divino.

trovertible que los gansos y los patos pueden proceder no de los huevos de estos animales, sino de los frutos de ciertos árboles "anatíferos o "de gansos". No menos fantásticas son las fábulas de los árboles de "ovejas", de cuyos frutos salen los corderos (fig. 8).

FIG. 8. Representación medieval del árbol "de oveja".

Algunos conocidos representantes de la ciencia de los siglos XVI y XVII rindieron tributo a los simplistas criterios de la teoría de la generación espontánea.

Por ejemplo, el famoso renacentista alemán Paracelso no sólo estaba convencido de la posibilidad de obtener artificialmente pequeños hombrecillos, los homúnculos, sino que además propuso la receta para fabricarlos.

Un rudo golpe a la teoría de la generación espontánea, en cuanto se refiere a los seres de elevada organización, lo asestó en el siglo XVII el italiano Francesco Redi.

Para demostrar la imposibilidad de la autogeneración de las larvas de moscas realizó el siguiente experimento. Colocó trozos de carne en dos recipientes. Uno de ellos lo cubrió con una gasa; el otro lo dejó abierto. Al poco tiempo, en el recipiente abierto surgieron larvas de los huevos que habían puesto las moscas. En el recipiente tapado, donde las moscas no habían logrado penetrar, no aparecieron larvas.

Parece que después de los experimentos de Redi y sus continuadores debería haber desaparecido la idea de la generación espontánea en tan ingenua forma. Mas, por aquel entonces, el microscopio reveló la existencia de un mundo de seres microscópicos desconocido hasta entonces: bacterias, hongos, infusorios, etc.

Los partidarios de la generación espontánea sostuvieron entonces que los organismos microscópicos se generan en los productos orgánicos en putrefacción.

El naturalista italiano Spallanzani intentó rebatir la generación espontánea de los microbios. Demostró que en los líquidos sometidos a un sensible aumento de temperatura no se observa la aparición de microorganismos. Se le objetaba que un largo calentamiento echaba a perder el aire o inutilizaba la fuerza específica generadora de la vida (fuerza "vegetativa").

El sabio ruso M. M. Terejovski fundamentó en su tesis doctoral (1775) la imposibilidad de la generación espontánea de los microorganismos, y demostró que aparecían en distintos medios, procedentes del aire. Hizo diversos experimentos, conservando caldos hervidos o congelados (en recipientes herméticamente cerrados, en recipientes con el cuello sumergido en mercurio, etc.), para llegar a la conclusión de que los protozoarios se reproducen por multiplicación.

La controversia sobre la posibilidad de la generación espontánea de los microorganismos quedó resuelta con las investigaciones del sabio francés Luis Pasteur. Pasteur demostró que la putrefacción y la fermentación son resultado de la actividad vital de microorganismos, bacterias y hongos, en ausencia de los cuales estos procesos resultan imposibles. Demostró también que en los objetos que nos rodean y en el aire y el agua hay gran cantidad

de microorganismos, que en condiciones favorables se multiplican rápidamente. Pasteur dejó establecido que si preservamos de los microorganismos exteriores un caldo hervido u otro medio nutritivo, la solución permanece estéril y no llega a alterarse.

Después del descubrimiento por D. I. Ivánovski, en 1892, de los virus, estas formas tan simples de seres vivos, el abismo que había entre la naturaleza viva y la no viva comenzó a desaparecer. Los virus vegetales, entre ellos el que produce el mosaico del tabaco, pueden hallarse, en determinadas condiciones, en un estado característico de los cuerpos no vivos (forma cristalizada). Al mismo tiempo, en otros casos, cuando se incorporan a un vegetal, adquieren los rasgos típicos de los cuerpos vivos, a saber: el metabolismo, la facultad de multiplicarse, etc.

Teoría del carácter eterno de la vida.

Está fuera de duda que la Tierra permaneció en una época en un estado tal que hacía por completo imposible la existencia de seres vivos. Nuestro planeta carecía de vida. Esta apareció en él por primera vez hace un millón y medio o dos millones de años. Así nos lo prueban los datos de la Geología y la Cosmogonía.

Algunos científicos negaban la posibilidad de la autogeneración de los organismos y suponían que los seres vivos que pueblan la Tierra procedían de otros planetas o del espacio interplanetario. Según su opinión, la Tierra fue, como si dijéramos, contagiada de vida. Al mismo tiempo, empezó a extenderse la teoría del carácter eterno de la vida. La vida es eterna, decían los idealistas; lo único que sucede es que pasa de un planeta a otro.

¿De dónde llegaron y cómo aparecieron en la Tierra los primeros habitantes vivos? Esta cuestión fue muy discutida a fines del siglo XIX y principios del XX; se emitieron acerca de ello las más diversas opiniones. Un grupo de científicos alemanes (J. Liebig, H. Richter, H. Helmholtz) expresaron la opinión de que la vida había llegado a la Tierra junto con fragmentos de cuerpos celestes, los meteoritos. Con estos fragmentos aparecieron un buen día en la Tierra los gérmenes de la vida, que después se desarrollaron de un modo abundante. Tal es la llamada teoría meteorítica. Pero los hechos la han desmentido. Los meteoritos, al llegar a la atmósfera terrestre, se calientan a causa del roce a temperaturas muy altas, cayendo a la Tierra en estado incandescente. Eso equivale a su esterilización, es decir, a la muerte de todos los gérmenes, suponiendo que trajesen consigo "enviados celestiales".

Al mismo tiempo que la teoría meteorítica, fue enunciada la hipótesis de la panspermia (por el sueco Arrhenius). De acuerdo con ella, en el espacio interplanetario hay infinita cantidad de gérmenes o esporas, microorganismos que se trasladan por la presión de la luz (presión de radiación). El traslado de las esporas a la Tierra desde el cuerpo celeste más próximo habría exigido varios miles de años. Al mismo tiempo, en el espacio interplanetario faltan condiciones de vida tales como el oxígeno y el conveniente régimen de temperatura. La temperatura se aproxima allí al cero absoluto. Pero no se trata sólo de esto. Las investigaciones de los últimos años han

venido a demostrar que el espacio interplanetario lo atraviesan rayos ultravioleta y cósmicos, que representan la muerte para todo ser vivo.

Por lo tanto, las teorías del origen extraterrestre de la vida carecen de fundamento. Además, si pensamos seriamente, vemos que tales teorías no hacen más que resolver aparentemente el problema, ya que si la vida no apareció en la Tierra es de suponer que o bien existía eternamente o que apareció en otro sitio de alguna manera. Semejantes teorías frenan el pensamiento y se contradicen con el principio del desarrollo de la materia, conduciendo sin remedio a concepciones míticas.

Intentos de crear modelos de seres vivos.

No todos los filósofos de la antigüedad que se mostraban conformes con la idea de Aristóteles de la autogeneración de los organismos la relacionaban con la acción de una fuerza oculta, de un principio divino. Demócrito, por ejemplo, consideraba que los seres vivos aparecen gracias a una combinación casual, pero determinada, de átomos, en su permanente movimiento mecánico.

Mucho más tarde, en el siglo XVII, Descartes expuso conceptos mecanicistas. Según él, la autogeneración casual de los seres vivos y los vegetales tiene lugar en el proceso de su autoformación como máquinas complejas.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado y hasta nuestros días, muchos biólogos han tratado y tratan de interpretar los fenómenos vitales desde posiciones físico-químicas. Comparan la formación de los organismos con la cristalización, y consideran posible estudiar y descubrir las propiedades de los seres vivos, su desarrollo y multiplicación, movimiento, etc., en modelos no vivos, en gotas de mercurio, aceite, etc. Tales investigaciones cumplieron un papel relativamente positivo, sin que, a pesar de eso, nos ayudasen a comprender la esencia de la vida y su origen. Porque si bien es verdad que la vida orgánica es imposible sin transformaciones mecánicas, químicas, eléctricas y de otra clase, la presencia de tales formas de actividad no explica totalmente su carácter fundamental.

Es indudable que la vida se engendró en la Tierra. Los que criticaban la teoría de la generación espontánea sostenían la aparición repentina, de una vez, de animales y plantas de superior organización. Semejante autogeneración es tan improbable como el que de un conjunto de letras revueltas se compongan casualmente los versos de *Eugenio Oneguin* o los tomos de *La guerra y la paz.*

Al explicar los complejísimos fenómenos vitales como un juego de fuerzas físicas y ver en ellos el resultado de una feliz casualidad, los partidarios de las teorías mecanicistas dejaban la puerta abierta para la penetración del vitalismo en la Biología. Es evidente que sólo el materialismo dialéctico es capaz de resolver acertadamente el problema del origen de la vida en la Tierra.

Teoría de A. I. Oparin.

Los fundamentos de la concepción materialista contemporánea sobre el origen de la vida en la Tierra los expuso en sus obras F. Engels. A. I.

Oparin ha desarrollado las tesis de Engels, apoyándose en los últimos descubrimientos de la ciencia. A él se debe la teoría de la formación de las sustancias albuminoideas y del origen de la vida, que ha alcanzado tanta difusión.

Oparin parte de la estructura, las propiedades y las funciones de los organismos más simples que actualmente viven, y también de los datos relativos a la estructura de las combinaciones orgánicas y de la síntesis orgánica. Tiene en cuenta el análisis químico de los meteoritos y los éxitos de la Astrofísica; en primer lugar, los éxitos alcanzados con el análisis espectral de las estrellas.

El análisis espectral de cuerpos celestes que se encuentran en diferentes grados de desarrollo permite reproducir la historia de la Tierra, el camino que ha seguido a lo largo de millones de años. Gracias a los éxitos de la Astrofísica podemos adentrarnos en la historia de los elementos químicos que constituyen la base material de los seres vivos. Los astrofísicos han descubierto que en la atmósfera de una serie de planetas faltan el anhídrido carbónico, el oxígeno libre y el nitrógeno. Todos estos gases son de naturaleza biogénica, o sea que su aparición va unida a las actividades vitales de los organismos.

El carbono ha sido encontrado en la atmósfera de las estrellas más calientes, la temperatura de cuya superficie oscila entre 15.000° y 28.000°. En semejantes condiciones no puede haber combinaciones químicas. Allí se encuentran átomos libres. Unicamente en los espectros de estrellas, en que la temperatura de la superficie es de 12.000°, aparecen franjas que indican la presencia de hidrocarburos. En la atmósfera del Sol (su temperatura es de 5000 a 7000°) se han encontrado metano (CH), cianógeno (CN) y dicarbono (C_2). En la atmósfera de Júpiter se ha registrado la presencia de metano y amoníaco, a cuya combinación se puede atribuir el origen de las partes integrantes de los albuminoides, los aminoácidos.

En todos los meteoritos, cuya composición química es idéntica a la del núcleo de la Tierra, se han descubierto combinaciones de carbono con metales (hierro, níquel y cobalto) llamadas carburos. Se han encontrado asimismo en los meteoritos hidrocarburos, entre ellos algunos de gran número de moléculas. También el nitrógeno se une con los metales, dando nitruros.

Acerca del origen de la Tierra se han expuesto muchas hipótesis. A partir de Kant y Laplace se consideró que la Tierra había pasado en su desarrollo por el estado de nebulosa, después por el de una esfera líquida ígnea, y por último, a medida que se fue enfriando, se cubrió de una capa sólida, la corteza. O. J. Schmidt, basándose en una serie de cálculos matemáticos, llegó a la conclusión de que la Tierra se formó por la condensación de materia difusa (polvo y gases) y fragmentos de cuerpos celestes, que únicamente volvieron al estado de fusión gracias a la energía de la desintegración atómica. Las partículas de materia en polvo llevaban en su superficie agua en forma de escarcha, que más tarde, al calentarse, pasó a estado gaseoso.

Al enfriarse la corteza terrestre llegó un momento en que a los vapores de agua condensados se unieron los hidrocarburos y el amoníaco y cayeron a la Tierra en forma de aguaceros, cubriéndola de un océano hirviente. Los carburos y nitruros emanados de las profundidades de la Tierra reaccionaron con el agua, aumentando la cantidad de combinaciones orgánicas

disueltas en el primitivo océano. Allí, la elevada temperatura y la gran concentración de cuerpos crearon condiciones favorables para diferentes combinaciones químicas, entre ellas las que dieron origen a los aminoácidos, que son la base de las materias albuminoideas.

Se necesitó un largo periodo para que, a partir de los aminoácidos, se sintetizasen complejas combinaciones albuminoideas, que se encontraban en las aguas del océano en forma de solución coloidal. Es de ellas de donde surgieron los primeros organismos, al individualizarse respecto del medio grumos de albuminoides. Mas, aun después de haberse separado del medio, los primeros organismos y los posteriores continuaron manteniendo con él un estrecho contacto y dependiendo íntimamente de él.

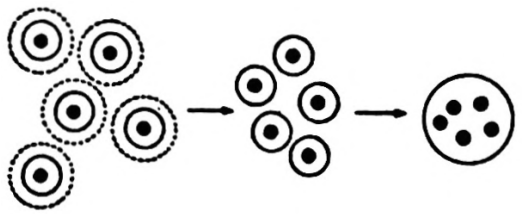


Fig. 9. Esquema de la formación de gotas de coacervado.

La separación de los albuminoides en el seno de la solución coloidal se produjo en virtud de un proceso de coacervación, que ha sido estudiado con detalle en el transcurso de los últimos años.

La coacervación se presenta al mezclar soluciones de coloides hidrófilos diferentes, por ejemplo, gelatina y goma arábiga, en un medio relativamente ácido. En tales condiciones comienza la coagulación, pero es efectaú de un modo peculiar y no llega a terminarse. Las partículas pierden la capa exterior de su cubierta de agua uniendo después sus capas densas. A causa de ello, empiezan a separarse de la solución gotas de coacervado, que al principio son muy pequeñas, y después van aumentando, fundiéndose unas con otras. La solución coloidal se divide en dos partes, el coacervado, que contiene coloide concentrado, y el medio que le rodea, pobre en micelas. Los fenómenos de coacervación están muy extendidos en la células (fig. 9).

Todo lo que acabamos de exponer es como la prehistoria de la vida. La vida surgió por medio de una transformación cualitativa brusca, al liberarse los grumos albuminoideos de su dependencia del medio; esto fue posible gracias a los procesos de autorrenovación. Acaso semejantes grumos albuminoideos gozasen ya de actividad fermentativa, condición indispensable para el metabolismo y que depende de los albuminoides mismos. El bioquímico soviético V. A. Enguelgardt ha descubierto que la miosina, el albuminoide muscular, posee capacidad de fermentación. No está excluído que también otros albuminoides gocen de estas propiedades.

Ya las primeras sustancias albuminoides que aparecieron en la Tierra poseían cualidades específicas, características de los seres vivos. Su desarrollo ulterior se subordina a las leyes biológicas, se van adaptando progresivamente a las variables condiciones de vida y a la influencia de la selección. Entre ellos, los más activos y perfectos se desarrollaron y multiplicaron de un modo especial. Los menos perfectos se descompusieron y su materia pasó a aumentar la masa de los primeros. Al mismo tiempo se fue haciendo más compleja la organización de los organismos vivos. En un principio, su cuerpo lo componía un protoplasma único, no dividido en núcleo y citoplasma. En virtud de la actividad del albuminoide vivo comenzó, en una determinada etapa de su desarrollo, la síntesis de los ácidos nucleicos, que al unirse con los albuminoides sencillos originaron los nu-

cleoproteidos, es decir, la materia nuclear. Al comienzo, esta materia permaneció difusa, pero después empezó su condensación, dando origen al núcleo ya constituído. Las formas precelulares de materia viva se transformaron en estructuras celulares y, empleando las palabras de Engels, "con la primera célula se obtuvo la base para el desarrollo morfológico de todo el mundo orgánico"[8]. Los primeros organismos comenzaron su desarrollo evolutivo.

Los organismos primarios se nutrían utilizando los productos orgánicos contenidos en el medio ambiente. Por tanto, los primeros organismos de la Tierra se asemejaban por su metabolismo a los animales. Tan sólo mucho más tarde, cuando a consecuencia del metabolismo de los organismos primitivos se acumularon en la atmósfera grandes cantidades de anhídrido carbónico, a la vez que los productos nutritivos disueltos en el agua comenzaban a agotarse, aparecieron los organismos autótrofos.

Los animales y vegetales primitivos dieron origen a "incontables clases, órdenes, familias, géneros y especies, hasta llegar a los vertebrados y finalmente, entre éstos, a la forma en la que el sistema nervioso alcanza su mayor desarrollo y en que la naturaleza adquiere conciencia de sí misma en la persona del hombre"[9].

Estas son, en rasgos generales, las ideas actuales acerca de la aparición de la vida en la Tierra y, en primer lugar, de las materias albuminoideas.

IMPORTANCIA DE LOS TRABAJOS DE SINTESIS DE LA MATERIA ORGANICA

Engels atribuía singular importancia a los trabajos sobre síntesis de las sustancias orgánicas a partir de las inorgánicas, que consideraba decisivos para el triunfo de la concepción materialista del mundo. El primer producto orgánico, la urea, lo obtuvo el médico y químico alemán Woehler (1828). El científico ruso N. N. Zinin (1842) descubrió la reacción de transformación de las combinaciones aromáticas nitrogenadas en compuestos aminados y obtuvo artificialmente un producto orgánico, como es la anilina, a partir del carbón de hulla. Su discípulo A. M. Bútlerov (1861), el primero que sintetizó un sacárido, es el autor de la teoría de la estructuración de las sustancias orgánicas.

En la actualidad se han obtenido mediante síntesis más de 100.000 sustancias orgánicas, entre las que figuran una serie de hormonas y los pigmentos de la sangre.

Nuestras ideas acerca de la aparición de la vida en la Tierra adquirirán sólida base cuando conozcamos las leyes de formación de las materias albuminoideas y reproduzcamos sintéticamente un albuminoide vivo, primero en el laboratorio y después en la industria.

Esta tarea no es nada fácil: los albuminoides son las combinaciones químicas más complejas y más variables. Los grandes éxitos alcanzados hoy día en el estudio de la estructura de estas sustancias van unidos en primer lugar a los nombres de N. D. Tselinski, A. N. Baj y otros químicos soviéticos.

Los primeros trabajos de síntesis de los albuminoides los comenzó A. Y. Danilevski. El académico A. Baj obtuvo a partir de la mezcla de soluciones

[8] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, 1952, pág. 13.
[9] Ibídem, pág. 13.

de formaldehído y cianuro potásico un producto próximo a las peptonas, que son combinaciones albuminoideas de las más simples. Después fueron sintetizadas a gran presión, a partir de productos de descomposición de los albuminoides (aminoácidos), combinaciones semejantes a ellos. A su vez, los aminoácidos pueden ser obtenidos artificialmente.

Nuestra ciencia avanza con paso seguro hacia el momento de que habló Engels, al decir que sin duda alguna, aunque sea dentro de siglos, llegaremos a conocer la composición de los albuminoides, y a obtenerlos artificialmente. Esto significará que habremos logrado producir la vida orgánica.

CONCLUSIONES

1. Engels considera la vida como la forma superior de la evolución de la materia. Los portadores de la vida son los albuminoides. La característica más acusada de los seres vivos es su ininterrumpido intercambio con el medio (asimilación-desasimilación), que es la fuente de autorrenovación de los organismos.

2. Del metabolismo y de la plasticidad característica de los albuminoides derivan todas las propiedades fundamentales de la vida: irritabilidad, contractibilidad, reproducción, crecimiento, desarrollo, herencia y su variabilidad, vejez y muerte.

3. Los seres vivos están integrados por los mismos elementos que existen en la naturaleza inorgánica.

4. El agua constituye cuantitativamente la parte fundamental del organismo; a ella le corresponde el primer papel en los procesos del metabolismo. Cuantitativamente, las sales representan una parte muy reducida del organismo. Sin embargo, las funciones vitales son posibles únicamente en presencia de una determinada cantidad óptima de sales y de su correspondiente relación.

5. Los hidratos de carbono son la principal fuente de energía. Las grasas y los lipoides son productos nutritivos de reserva. Participan activamente en el metabolismo, sobre todo de los animales.

6. Los albuminoides constituyen la materia principal que forma el cuerpo de animales y vegetales. Los albuminoides vivos, que son coloides hidrófilos, son combinaciones que se encuentran en estado de constante modificación. Su peso molecular es elevado y tienen una complicadísima estructura.

7. Todas las reacciones químicas que transcurren en el organismo van unidas a la actividad de sustancias de naturaleza albuminoidea, elaboradas en él, a los fermentos o enzimas. Las vitaminas tienen una importancia vital para el organismo.

8. Los organismos de nutrición autótrofa sintetizan los productos orgánicos a partir de los inorgánicos, utilizando para ello la energía de los rayos solares (fotosíntesis) o los procesos químicos que se suceden en su cuerpo (quimosíntesis). K. A. Timiriázev realizó investigaciones clásicas dentro de la fotosíntesis. El proceso de la quimosíntesis en las bacterias lo descubrió S. N. Vinogradski.

9. Los organismos heterótrofos no son capaces de sintetizar los productos orgánicos a partir de los inorgánicos, y para sus actividades vitales utilizan,

directa o indirectamente, las sustancias orgánicas y la energía almacenada por las plantas.

10. Los organismos heterótrofos descomponen hasta cierto grado las sustancias orgánicas que han recibido con los alimentos y, merced a la energía liberada en este proceso, sintetizan nuevas sustancias orgánicas, específicas para cada especie concreta.

11. La respiración y la fermentación son formas importantes de desasimilación; en ellas se libera energía. En la respiración se utiliza el oxígeno libre del aire o el disuelto en el agua; en la fermentación, los productos orgánicos se descomponen bajo la acción de células vivas o de los fermentos que ellas originan.

12. Las vitaminas son parte necesaria de la alimentación de los animales. Desempeñan un importante papel en el metabolismo del organismo.

13. Los productos que eliminan las plantas y los animales, así como sus restos, son descompuestos por las bacterias y vuelven a la naturaleza en forma de materiales inorgánicos.

14. El autor de la teoría materialista contemporánea acerca del origen de la vida en la Tierra es A. I. Oparin. Esta teoría se funda en el materialismo dialéctico. Afirma que los seres vivos proceden de la materia no viva y relaciona el origen de la vida con la historia de la Tierra.

CAPITULO II

FORMAS VIVAS CELULARES Y NO CELULARES

La inmensa mayoría de los organismos actuales se caracterizan por una complejísima diferenciación debida a la diversidad de las partes que los integran. A pesar de tal complejidad y variedad, todos poseen elementos estructurales comunes. El elemento estructural que sirve de base al desarrollo y a la configuración de las formas animales y vegetales es la célula. Hay que tener en cuenta que, aparte de la célula, integran también los organismos diferentes formaciones no celulares.

Se necesitó largo tiempo para establecer este carácter común de estructura celular de los organismos y crear la teoría celular. Su logro representa un formidable triunfo del genio humano en el siglo XIX.

El desarrollo de la teoría celular ha conducido a importantísimas síntesis biológicas y ha servido de base para la concepción materialista del mundo.

Historia del desarrollo de las teorías celulares. Al descubrimiento de la célula se podía llegar únicamente después de inventar el microscopio, que permite al hombre un conocimiento más profundo de la naturaleza que le rodea. El primer microscopio fue construido a fines del siglo XVI y principios del XVII, según unos por el famosísimo sabio italiano Galileo Galilei, y según otros por los ópticos holandeses Hans y Zacharias Jansen.

Habían de transcurrir, sin embargo, más de cincuenta años para que el microscopio llegase a aplicarse al estudio de estructuras biológicas. El primero en recurrir a él para tales fines fue el físico inglés R. Hooke, que estudió así secciones de diferentes órganos vegetales. En el peridermo —corteza de corcho— y otras partes de las plantas descubrió Hooke minúsculas cavidades, semejantes a las celdillas de las abejas, a las que denominó células.

Los trabajos de R. Hooke despertaron el interés de los hombres de ciencia contemporáneos por las investigaciones microscópicas. El italiano M. Malpighi y el inglés N. Grew publicaron poco después tratados con la descripción de la estructura microscópica de diferentes órganos vegetales. A fines del siglo XVII el holandés A. Leenwenhoeck, con ayuda de lentes de su fabricación, que aumentaban doscientas veces, descubrió el mundo de los microorganismos (bacterias, infusorios y hongos) y describió algunas células individualizadas de organismos animales: los eritrocitos y los espermatozoides.

Las primeras noticias acerca del microscopio llegaron a Rusia en la segunda mitad del siglo XVII. A principios del XVIII, mecánicos rusos comenzaron a construir en su país los primeros microscopios.

Utilizó ampliamente el microscopio en sus investigaciones químicas M. V. Lomonósov. En su famoso artículo "Carta sobre la utilidad del cristal" (1750), Lomonósov decía:

> Cuántos misterios el microscopio ha descubierto
> de invisibles venillas y partículas del cuerpo.

Al parecer, Lomonósov estudió con ayuda del microscopio no sólo cuerpos químicos, sino también estructuras biológicas, según podemos deducir de las siguientes estrofas:

> No menos que los grandes cetáceos que el mar habitan
> los pequeños gusanos con su estructura nos admiran.

A fines del siglo XVIII se construyó en Rusia el primer microscopio acromático. Lo hizo el famoso mecánico Kulibin, según los cálculos del académico L. Euler. En la segunda mitad del siglo XVIII, los científicos rusos realizaron con ayuda del microscopio una serie de importantísimos descubrimientos. Recordemos a M. M. Terejovski, que estudió la reproducción de los protozoarios (1775), y a A. M. Shumlianski, que en 1782 publicó su famosa disertación sobre la estructura de los riñones.

Los trabajos de A. T. Bólotov (segunda mitad del siglo XVIII) contienen datos acerca de la estructura microscópica de una serie de elementos integrantes de animales y vegetales. Nos explican también la técnica de las investigaciones microscópicas.

A la preparación y creación de la *teoría celular* contribuyeron en alto grado representantes de la ciencia rusa.

El académico petersburguense K. F. Wolf (1734-1794) fue el primero en señalar el carácter común de la microestructura de animales y vegetales.

Tuvieron gran importancia las investigaciones de K. M. Ber, el padre de la embriología contemporánea, que en 1826 descubrió el óvulo de los mamíferos. Sus trabajos sobre embriología son la piedra angular de la teoría celular como teoría del desarrollo del organismo.

En 1834, P. F. Gorianínov (1796-1865), profesor de la Academia médico-quirúrgica de San Petersburgo, escribió acerca de los vegetales, los animales y el hombre, considerándolos como cuerpos orgánicos integrados por células.

Corresponde un importante papel en la fundación de la teoría celular al científico checo Jan Purkyne y a su discípulo G. Valentin. Observaron la presencia de granulaciones y materia gelatinosa en el cuerpo de los animales y las plantas. Purkyne habló en sus obras de la materia líquida de la célula, e introdujo en la ciencia el término *protoplasma*. Uno de sus admirables descubrimientos es el del núcleo celular (en el óvulo de la gallina). La comparación detallada de la estructura microscópica de los animales y las plantas la realizó en 1839 el anatomista alemán T. Schwann, quien, basándose en sus propias observaciones sobre animales y en los datos obtenidos por el botánico Schleiden; llegó a la conclusión de que, a pesar de algunas diferencias secundarias entre los tejidos vegetales y animales, estos últimos "están constituidos por células, que pueden compararse totalmente a las células elementales de los vegetales"[1]. Más adelante continúa "...Todos los tejidos están constituidos por células o son resultado de las diferentes transformaciones que experimentan las células."[2]

Schwann describe también la materia intercelular descubierta por él en una serie de tejidos animales.

[1] Schwann, T. *Investigaciones microscópicas acerca de la semejanza en la estructura y desarrollo de animales y plantas*, 1838, pág. 38.

[2] Ibídem, pág. 71.

Refiriéndose a la teoría celular, F. Engels escribe: "Pero hay sobre todo tres grandes descubrimientos que han dado un impulso gigantesco a nuestros conocimientos acerca de las características de los procesos naturales:

El primero es el descubrimiento de la célula, como la unidad de cuya multiplicación y diferenciación se constituye todo el cuerpo del vegetal y del animal, de tal modo que no sólo se ha podido establecer que el desarrollo y el crecimiento de todos los organismos superiores son fenómenos sujetos a una sola ley general, sino que, además, la capacidad de variación de la célula nos señala el camino por el que los organismos pueden cambiar de especie y, por tanto, recorrer una trayectoria superior a la individual."[3] Más adelante, Engels señala la ley de la transformación de la energía y la teoría de la evolución de C. Darwin.

La teoría celular es una prueba de la unidad del mundo orgánico. Pero no sólo la teoría de la estructuración de los organismos, sino también, y eso es más importante, de su desarrollo.

La teoría celular preparó las mentes para la comprensión de las ideas de la evolución en el mundo orgánico, despertó el interés por el estudio de la célula aislada y su desarrollo, estructura y actividad vital.

Los principios fundamentales de la teoría celular ostentaban un carácter materialista. F. Engels escribió acerca de esta teoría: "El velo del misterio que envolvía el proceso del origen, desarrollo y estructura de los organismos fue descorrido. El milagro inconcebible hasta entonces se presentó en forma de proceso sujeto a una ley idéntica por su esencia para todos los organismos pluricelulares"[4]. La teoría celular infundió un nuevo impulso a la Fisiología. La Patología pudo acabar con las ideas anticientíficas de las fuerzas "buenas" y "malas" existentes en el organismo humano y la lucha de las cuales explicaba el origen de las enfermedades.

En la segunda mitad del siglo XIX, R. Virchow *mostró la relación entre los procesos patológicos y las transformaciones celulares*, lo que contribuyó en alto grado a la comprensión de tales procesos. Ello facilitaba el diagnóstico y permitía estudiar detalladamente las modificaciones estructurales de los órganos y los tejidos en diferentes enfermedades. Pero Virchow introdujo en la teoría celular una serie de conceptos erróneos, que le dieron un carácter metafísico. En su *Patología celular* afirmaba que la célula es la única forma de naturaleza animada, que fuera de ella no hay vida y que la célula es el límite de división de la materia viva.

En consecuencia, para Virchow el organismo era una *suma de células*, un estado celular, un edificio en el que los ladrillos son las células.

De la idea del organismo como un conjunto de células se desprendía el principio *localista* en Medicina, según el cual los procesos patológicos del organismo se deben a modificaciones locales de determinados grupos de células. Tal punto de vista no tiene presente que los cambios que pueda experimentar un órgano se deben a desequilibrios del organismo entero En Fisiología, los partidarios de Virchow sustituían el estudio del organismo en su conjunto por el de las propiedades de las células aisladas.

Virchow expuso el principio de que "toda célula proviene de otra célula" *(omnius cellula e cellula)*.

Con su afirmación de que la célula es la única forma y el último término

[3] Engels, F., *Ludwig Feuerbach y el fin de la filosofía clásica alemana*, 1951, pág. 38.
[4] Engels, F., *Dialéctica de la naturaleza*, 1952, pág. 155.

de la vida, los partidarios de Virchow levantaron una infranqueable barrera entre la naturaleza animada e inanimada. Para ellos la célula era eterna o, en todo caso, una "creación divina". Tales puntos de vista dificultaban, como es natural, la interpretación materialista del origen de la vida.

Hay que señalar que, al poco de su aparición, la concepción de Virchow fue ya objeto de crítica por parte de los más destacados naturalistas y clínicos rusos. En 1860, I. M. Séchenov, padre de la fisiología rusa, escribió en su tesis doctoral que toda patología celular que tenga por base la independencia fisiológica de las células, o por lo menos su hegemonía sobre el medio ambiente, es en principio falsa.

También se manifestaron en contra de la patología celular y la concepción localista, que no tiene presente la unidad del organismo, los más famosos médicos —de medicina interna— de la segunda mitad del siglo XIX, G. A. Zajarin, S. P. Botkin, A. A. Ostroúmov y otros, autores del principio de la integridad del organismo y de su unidad con el medio ambiente. La integridad del organismo en los animales superiores se debe ante todo al sistema nervioso.

Este principio lo desarrolló y fundamentó I. P. Pávlov, al mostrar la importancia del sistema nervioso central, que desempeña el papel fundamental en la actividad vital del organismo. El principio pavloviano del neurismo es en la actualidad la base sobre la que se desarrolla la ciencia médica avanzada.

Formas de protoplasma carentes de estructura celular.

Se obtiene una visión filogenética (del griego *phyle,* tribu, y *gennaó,* engendrar) de las células mediante el estudio de las formas actuales de seres vivos que carecen de estructura celular. Según la opinión de Engels, hubieron de transcurrir miles de años antes de que aparecieran las condiciones que hicieron posible el siguiente paso y del albuminoide amorfo surgiera, gracias a la formación del núcleo y de la membrana, la primera célula.

Entre los organismos actuales existen formas en las que aún no se ha producido la integración de la materia nuclear en un núcleo estructurado morfológicamente, y esta materia o bien falta o se encuentra dispersa. Tales formas se suelen conocer con el nombre de *precelulares.*

También se deben considerar como estructuras de materia viva carentes de organización celular aquellas en que el protoplasma contiene el material nuclear, pero sin adquirir aún la estructura típica de la célula, o también los casos en que las células han perdido los rasgos que las caracterizan. Entonces nos encontramos en presencia de formas vivas *no celulares.*

Formas de la materia viva anteriores a la célula. Pertenecen a este grupo los *virus,* los *bacteriófagos* y algunas otras formas.

Los virus son formaciones simples, situadas en la frontera entre los seres vivos y la naturaleza inanimada. Los descubrió en 1892 el científico ruso D. I. Ivánovski al estudiar la enfermedad del mosaico del tabaco. Ivánovski demostró la existencia de enfermedades cuyos agentes patógenos atraviesan los filtros de porcelana. Este descubrimiento tuvo gran importancia teórica y práctica, al señalar que además de las células existen otras formas, más simples, de vida. El descubrimiento de los virus sirvió de estimulo para un

estudio más profundo de ellos y la búsqueda de medios de lucha contra las enfermedades infecciosas del hombre, los animales y las plantas.

En la actualidad está comprobado que los virus son los causantes de la gripe, la viruela, el sarampión, la rabia, la encefalitis transmitida por las garrapatas y otras enfermedades del hombre.

Iványovski mostró también que los virus de origen vegetal, descritos por él en las células de plantas enfermas, pueden adoptar formas *cristalinas* y son semejantes a laminitas de cera. Estas formaciones se denominan actualmente "cristales de Iványovski". Todos los virus conocidos son parásitos intracelulares. No se ha logrado cultivarlos en medios nutritivos artificiales.

FIG. 10. Virus del mal del mosaico del tabaco, a través del microscopio electrónico (50.000 aumentos).

Por regla general, los virus son de tamaño submicroscópico. Solamente un escaso número de virus animales (por ejemplo, el de la vacuna contra la viruela) pueden verse con ayuda del microscopio ordinario. El tamaño y la forma de los virus se pueden determinar mediante procedimientos diversos, entre otros, con ayuda de microfotografías tomadas con el microscopio electrónico.

El virus del mosaico del tabaco (fig. 10) es filiforme (su longitud media es de 300 μμ). Otros muchos tienen forma esférica (fig 11).

Los bacteriófagos, diminutos devoradores de microbios, fueron descritos por primera vez en 1899, por el microbiólogo ruso N. F. Gamaleia. Son por su naturaleza corpúsculos albuminoideos de tamaño submicroscópico (hasta 90 μμ). En ellos los albuminoides están unidos a otras combinaciones más simples. Vistos con el microscopio electrónico, los bacteriófagos se presentan como corpúsculos redondeados, de los que salen a modo de prolongaciones. Hasta la fecha, la naturaleza de los bacteriófagos no ha sido suficientemente estudiada.

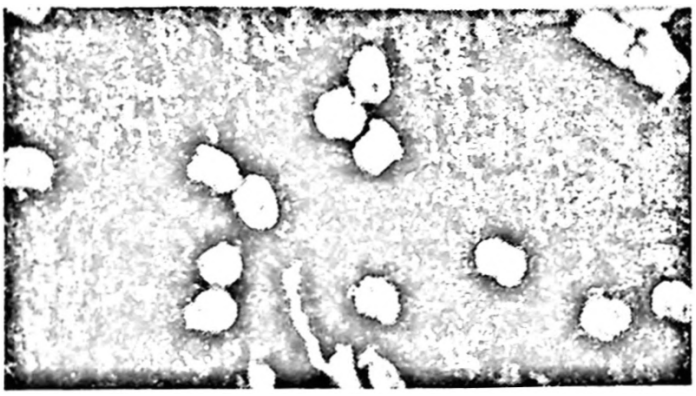


FIG. 11. Vacuna de la viruela a través del microscopio electrónico (25.000 aumentos).

En realidad, deben incluirse entre las formas anteriores a la célula muchas *bacterias y algas azules*, pues carecen de núcleo diferenciado.

Además de las células, una gran parte del cuerpo de los animales pluricelulares corresponde a la sustancia llamada *fundamental* o *intercelular*.

Numerosos hechos demuestran que en la propia sustancia fundamental se realizan constantemente procesos de metabolismo o autorrenovación. Esto se contradice con la teoría de Virchow de que todos los procesos vitales se realizan sólo en las células.

Formas no celulares de seres vivos. Las formas no celulares de seres vivos son muy comunes en el mundo orgánico.

Existen numerosos organismos vegetales que no pueden ser incluidos entre las estructuras de carácter celular. Por ejemplo, a la categoría de formas no celulares pertenecen las *algas sifonadas,* cuyo cuerpo no está constituido por células.

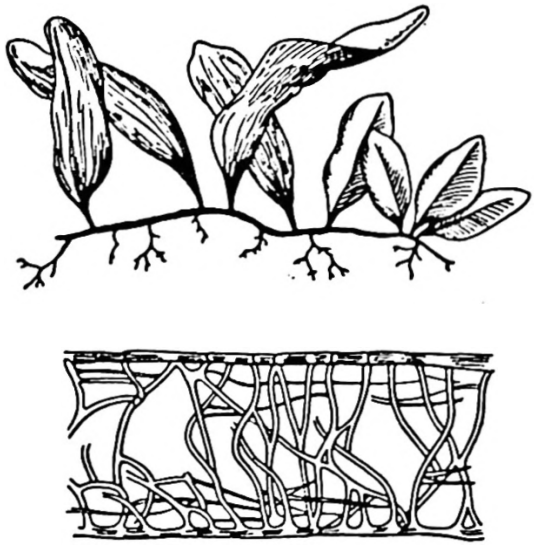


FIG. 12. Alga de estructura no celular (caulerpácea).

Como ejemplo de sifonadas pueden citarse las caulerpáceas (fig. 12), algas de 200 cm. de longitud, cuyo talo se diferencia en falsos tallos y falsas hojas; poseen también apéndices radiculares (rizoides). La zona periférica del cuerpo de estas algas está constituida por una gruesa capa de celulosa, de la que se proyectan hacia el interior travesaños y tabiques. En su interior hay una materia viva integrada por una multitud de pequeños corpúsculos.

Las formas no celulares están muy extendidas entre los hongos. Incluso en organismos típicamente "celulares", como las angiospermas, una serie de órganos carece de estructura celular. Por ejemplo, los tubos laticíferos, tanto articulados (en las compuestas, papaveráceas, convulvuláceas, etc.) como no articulados (en las euforbiáceas, cutiáceas, etc.), que llegan a alcanzar hasta 1 m. de longitud, son todos ellos una masa protoplasmática con múltiples núcleos. Carecen de estructura celular los endospermos de las semillas de una serie de plantas fanerógamas.

También abundan entre los protozoarios formas cuya estructura no corresponde a la celular. Por ejemplo, es difícil comparar con la célula de los organismos pluricelulares a los infusorios, que poseen una estructura extremadamente compleja. Eso se debe a que los protozoarios son organismos autónomos. En el proceso de su evolución se han ido formando en ellos diferentes organoides muy complejos, mediante los cuales se adaptaron a una existencia independiente. Los ciclos vitales de la mayoría de los protozoarios (sarcodarios o rizópodos, esporozoos, infusorios) son muy complicados.

En el cuerpo de los organismos pluricelulares ocupan un gran volumen formas que no corresponden al concepto de célula. Toda la musculatura voluntaria se compone de fibras de muchos centímetros de longitud, constituidas por una masa protoplasmática con numerosos núcleos.

Las fibras musculares se integran a base de células, que en el proceso de desarrollo llegan a adquirir un estado no celular. Lo dicho anteriormente se refiere también al miocardio, que está formado por una red de fibras musculares unidas entre sí.

LAS CELULAS. SUS DIMENSIONES Y SU FORMA

Se puede hablar de la estructura celular de un ser vivo tan sólo cuando el protoplasma único se subdivide en citoplasma y núcleo celulares.

Anteriormente decíamos que las células integrantes de los organismos pluricelulares son parte de un todo, del cual dependen y al que están subordinadas.

Las células son de diferente tamaño y forma. El diámetro de la mayoría de ellas oscila entre 10 y 100 μ. Se conocen células de mayor tamaño; por ejemplo, las nerviosas, cuyas prolongaciones llegan a alcanzar decenas e incluso centenares de centímetros. Hay también células menores; por ejemplo, los eritrocitos de algunos animales tienen un diámetro de 4 μ.

No se ha logrado establecer una relación entre el tamaño del organismo y el de sus células. A veces, dentro de una misma familia, animales de mayor tamaño tienen células más pequeñas que otros cuyo tamaño es menor. En algunos casos se observa el fenómeno contrario. Solamente en los elementos nerviosos y musculares que están altamente especializados, se puede establecer cierta dependencia entre el tamaño de las células y el del cuerpo: por ejemplo, las fibras de los músculos estudiados de la ballena son aproximadamente mil veces más gruesas que las de los músculos de otros animales.

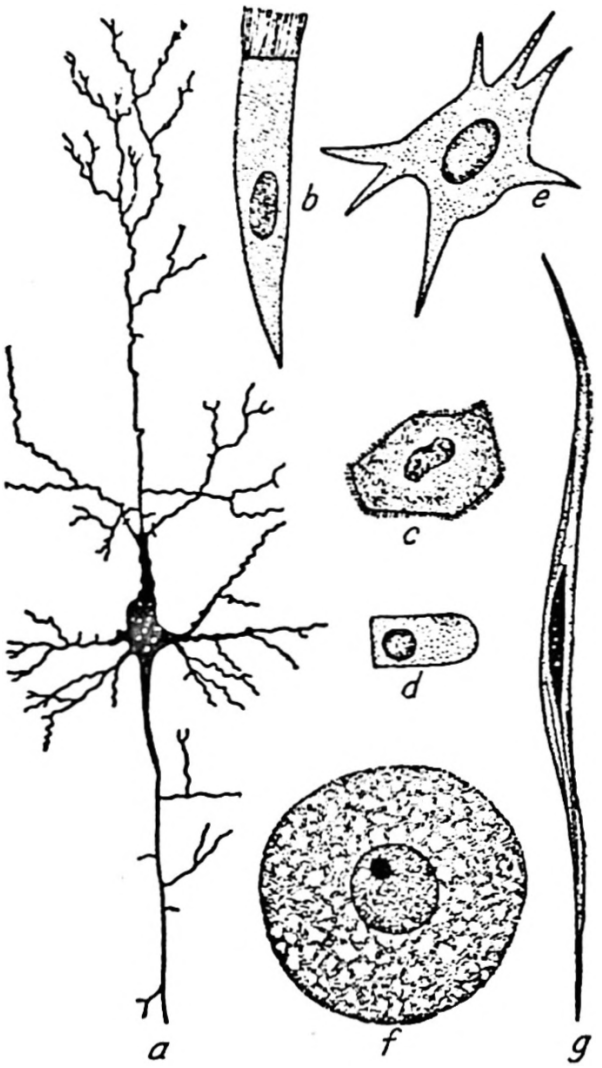


FIG. 13. Formas de células: *a*, célula nerviosa; *b*, *c*, *d*, células epiteliales; *e*, célula de tejido conjuntivo; *f*, óvulo; *g*, célula muscular.

Las dimensiones de las células dependen de la edad del organismo y también del estado físico y de las condiciones exteriores.

La cantidad de células que integran el organismo es muy elevada, siendo imposible su cómputo exacto. Por ejemplo, en la corteza cerebral del hombre hay de 14 a 15 mil millones de células nerviosas. El número de células de la sangre alcanza cifras verdaderamente astronómicas. En la sangre humana hay cerca de 23 billones de eritrocitos. Para imaginarnos lo que representa semejante cifra, basta decir que esos 23 billones puestos en fila constituirían una cadena con la que sería posible circundar cuatro veces la Tierra por el ecuador (el diámetro de un eritrocito es de 7 μ). Puestos estos eritrocitos uno encima de otro formarían una columna de cerca de 40.000

km. (el grosor del eritrocito es de 2 μ). Al mismo tiempo, se conocen organismos constituídos por una sola célula (muchas algas, hongos protozoarios) o por un número reducido de ellas.

La forma de las células es muy variable (fig. 13): esférica, poligonal, prismática, fusiforme, estrellada, etc.

La forma de las células depende en parte de las interrelaciones de los grupos celulares que constituyen el tejido. Las células individuales suelen ser esféricas. Sin embargo, el papel fundamental corresponde aquí a la función. Por ejemplo, la forma estrellada de las células nerviosas con largas prolongaciones se debe a la función que desempeñan como transmisoras del impulso nervioso de unas partes del organismo a otras, de una célula nerviosa a las vecinas.

Lo mismo puede decirse de las células musculares, que tienen forma alargada, fusiforme. Sus funciones consisten en contraerse y estirarse, y, de acuerdo con ello, aproximar o separar diferentes partes del cuerpo.

Las distintas formas y dimensiones de las células son un índice morfológico de diferenciaciones biológicas más profundas dentro del cuerpo vivo, diferenciaciones que dependen del carácter del metabolismo.

ESTRUCTURA DE LA CELULA

En cada célula, tanto animal como vegetal, se distinguen el cuerpo o citoplasma y el núcleo o carioplasma.

El citoplasma y el núcleo, que se formaron desarrollándose a partir de un protoplasma al principio no diferenciado, están íntimamente ligados entre sí.

Citoplasma. La base del citoplasma la constituyen albuminoides que, según todas las probabilidades, se hallan en combinación con lipoides. La viscosidad del citoplasma no supera, por regla general, a la del ácido sulfúrico concentrado o la glicerina, siendo frecuentemente más baja; por sus propiedades se asemeja a las sustancias acuosas. Esto y su estructura submicroscópica le proporcionan los rasgos típicos de los coloides hidrófilos. Probablemente el citoplasma representa una fase que no se mezcla con el medio que le rodea.

Uno de los principales elementos estructurales del citoplasma de los organismos superiores actuales es el sistema reticular endosmático de membranas lipoproteínicas que recuerda un encaje muy fino, distribuido en la sustancia fundamental del citoplasma.

En la superficie de estas membranas hay gránulos ribonucleicos, y estos mismos gránulos flotan libremente también en la sustancia fundamental del citoplasma. Con la centrifugación, algunos autores han logrado aislar del citoplasma los microsomas, los cuales, de acuerdo con la literatura actual, son el lugar en el que se opera la síntesis de la albúmina, principalmente de las albúminas enzimáticas. Sin embargo, últimamente Palad ha demostrado que los microsomas son más bien organoides formados al destruirse el retículo endosmático, burbujas contenidas en la membrana lipoproteínica que contiene, a su vez, gránulos liponucleicos. Palad considera que las membranas del retículo surgieron en el proceso de evolución, pero sólo en una fase muy superior del desarrollo de los organismos. Faltan en el citoplasma de las bacterias. Según Palad, las membranas del retículo aparecieron en

los organismos superiores al aumentar el volumen de las células y disminuir relativamente su superficie, lo que creó dificultades para la difusión. Estas dificultades fueron superadas precisamente al introducirse la película exterior que forma el retículo.

Núcleo. El núcleo apareció en determinada etapa del desarrollo de la materia viva, la cual se diferenció, se "desdobló" en citoplasma y núcleo.

La configuración del núcleo, lo mismo que la de las células, es muy variada (fig. 14); en las células esféricas y poligonales, el núcleo suele ser globular o elíptico; en las de forma alargada es generalmente fusiforme.

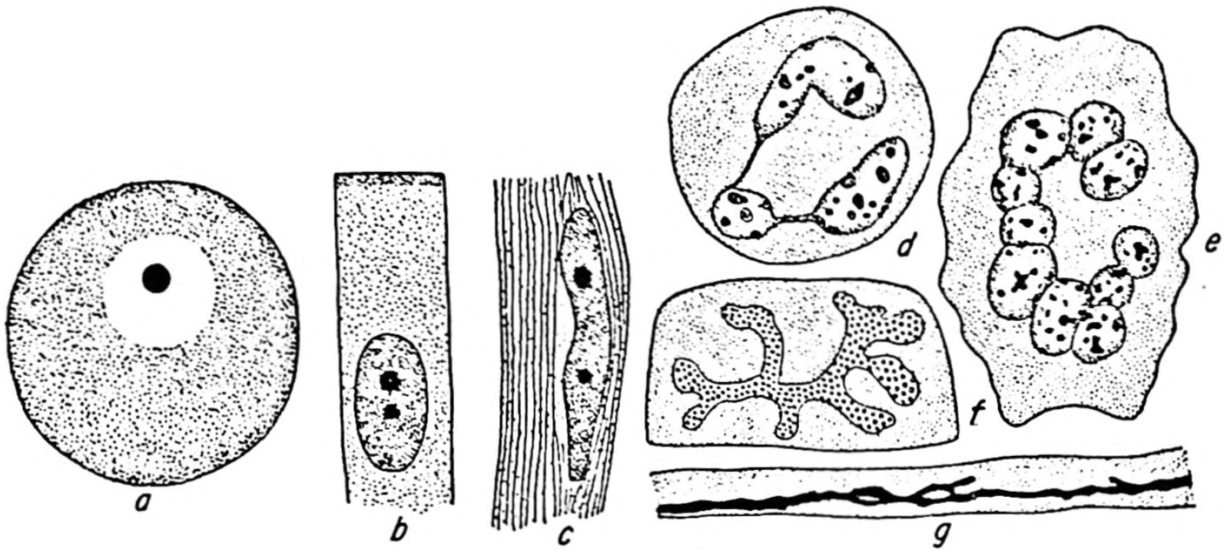


FIG. 14. Formas de núcleos: *a*, óvulo; *b*, célula de epitelio intestinal; *c*, célula muscular lisa; *d*, leucocito; *e*, metacariocito; *f*, célula de las glándulas productoras de la seda; *g*, entrenudos de jara.

Sin embargo, los hay también lobulados, laminados e incluso reticulares Los núcleos redondeados son característicos de diferentes plantas y también de las células nerviosas, hepáticas, etc., de los animales; la configuración lobulada y laminar corresponde a los núcleos de los glóbulos blancos de la sangre; finalmente, suelen ser reticulares los de las glándulas llamadas hileras, productoras de la seda en las larvas de algunos insectos.

Generalmente, cada célula posee un núcleo; pero a veces hay más de uno. Lo mismo que el citoplasma, el núcleo vivo está constituido por una sustancia transparente e incolora, en la que sólo son visibles unos corpúsculos granulosos, los *nucleolos,* que se destacan por su mayor refracción.

Después de fijar, es decir, de matar las células con diferentes reactivos (la mayoría de los cuales trastorna la estructura que tenían en vida, ya que da lugar a que se coagule la materia viva) y colorearlas, se pueden observar los siguientes detalles en la estructura del núcleo (fig. 15): en su parte exterior lo rodea una *membrana nuclear,* de la que parten hacia el interior unos *filamentos* que en forma de red constituyen el *armazón* o *retículo nuclear;* a lo largo de estos hilos están distribuidas masas de *cromatina,* sustancia que posee gran afinidad por los colorantes. Las mallas del retículo nuclear contienen un líquido llamado *jugo nuclear o carioplasma,* en el cual se encuentran los nucleolos.

Sin embargo, en vida, no se logra descubrir en muchos núcleos tal estructura. Suelen presentarse en forma de burbujas homogéneas, dentro de las que únicamente se ven los nucleolos (fig. 16).

Basándose en las investigaciones de células vivas, los citólogos soviéticos (D. N. Nasónov, P. V. Makárov y otros) han llegado a la conclusión de que la estructura del núcleo depende del *estado fisiológico de la célula,* de la etapa de desarrollo en que se encuentre. Así, por ejemplo, en un núcleo homogéneo al microscopio, bajo la influencia excitante aparecen estructuras que corresponden al retículo nuclear, las cuales pueden desaparecer sin dejar huella, cuando cesa la actividad de los excitantes. Aparecen también semejantes estructuras, pero con carácter estable, bajo la acción de cuerpos que matan la célula, los fijadores.

Fig. 15. Estructura esquemática del núcleo.

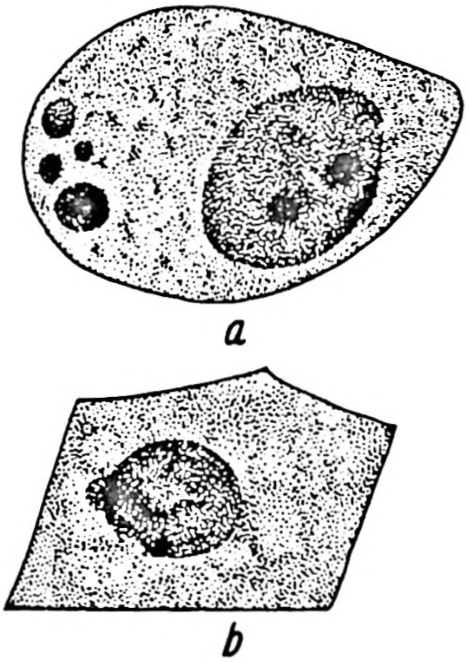


Fig. 16. Estructura del núcleo vivo: *a*, hígado del tritón; *b*, célula del meristemo de una raíz.

Organoides celulares. Se da el nombre de organoides u orgánulos a estructuras intracelulares que tienen una forma relativamente constante y desempeñan en la célula determinadas funciones. Forman parte de ellos los *condriosomas,* las *plastidas,* el *aparato reticular de Golgi* y el *centrosoma* o *citocentro.* Algunos autores incluyen también las *vacuolas* de las células vegetales.

Los condriosomas aparecen en todas las células animales y vegetales, a excepción de las bacterias y las cianofíceas. Al conjunto de todos los condriosomas de la célula se le da el nombre de *condrioma.*

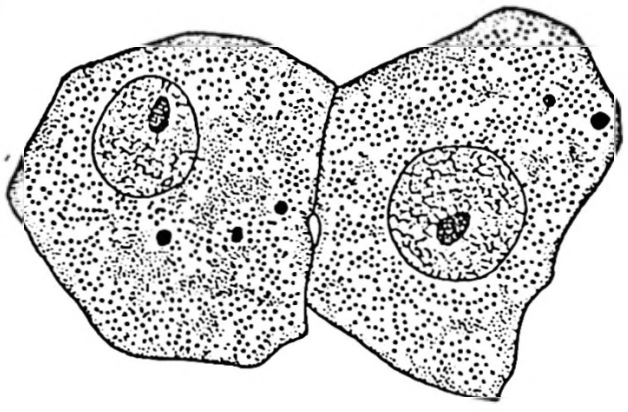


Fig. 17. Forma de los condriosomas en las células del hígado.

Los condriosomas presentan la forma de filamentos más o menos largos, de pequeños bastoncillos o de simples gránulos (fig. 17). Son visibles en las células vivas y pueden teñirse, sin dejar de existir, con colorantes.

Los condriosomas se componen de albúminas, ácidos ribonucleicos y fosfolípidos.

En estos últimos años se han aportado numerosos datos en apoyo de la relación entre los fermentos y los condriosomas. Muchos autores afirman que estos últimos contienen los fermentos "del mosaico". Otros biólogos opinan que las plastidas de las células vegetales proceden de los condriosomas.

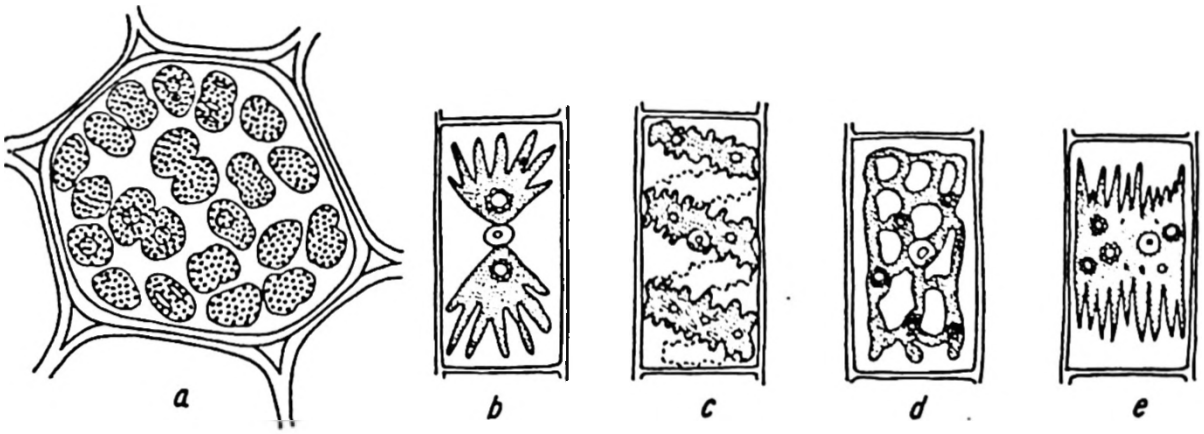


FIG. 18. Formas de plastidios: *a*, musgo *Mnium; b*, alga *Zygnema; c, Spirogyra; d*, alga *Oedogonium; e*, alga *Draparnaldia.*

Las plastidas son organoides característicos únicamente de las células vegetales. Suelen tener la forma de láminas circulares, gránulos, bastoncillos e incluso cintas (fig. 18). En las células vivas son incoloras o presentan tonalidades verdes, amarillas o naranja. A las incoloras se las conoce con el nombre de *leucoplastos;* aparecen en las partes no coloreadas de las plantas: raíces, vértices vegetativos del tallo, etc. Las plastidas coloreadas se denominan *cromatóforos.* Los *cromoplastos* son las plastidas que contienen pigmento amarillo o de color naranja. A la presencia de estos últimos se debe la coloración de la raíz de la zanahoria, de las bayas del escaramujo y el color amarillo de algunas flores, como la anémona.

Las plástidas más importantes en la vida de los vegetales son las que contienen un pigmento verde, la clorofila. A estas plástidas se las conoce con el nombre de *cloroplastos* y a veces, inexactamente, de gránulos de clorofila. Están constituidos por una base incolora y el pigmento, la clorofila. Según se puede ver por el microscopio electrónico, la materia pigmentaria está concentrada en pequeños gránulos, repartidos en un estroma uniforme que constituye el cloroplasto.

La forma de los cloroplastos es muy variable, sobre todo entre las algas. En éstas los hay semejantes a cintas.

Es necesario señalar que diferentes tipos de plástidas pueden *pasar de uno a otro.* En condiciones favorables, los cromoplastos se transforman en cloroplastos; los leucoplastos se convierten al ser iluminados en cloroplastos, etc. El otro organoide es el aparato reticular o de Golgi. El aparato intracelular está constituido por una serie de redes (fig. 19) o de partículas independientes en forma de bastoncillos, escamillas o glóbulos. En muchas células el aparato se sitúa cerca del núcleo o a su alrededor.

Son de gran importancia en el estudio de la estructura del aparato reticular y del papel funcional que éste desempeña, los trabajos de los citólogos soviéticos (D. N. Nasónov y otros). Podemos decir que en dicho aparato se condensan las materias que elabora la célula o que le llegan de fuera y que dan lugar a la formación de *gránulos.*

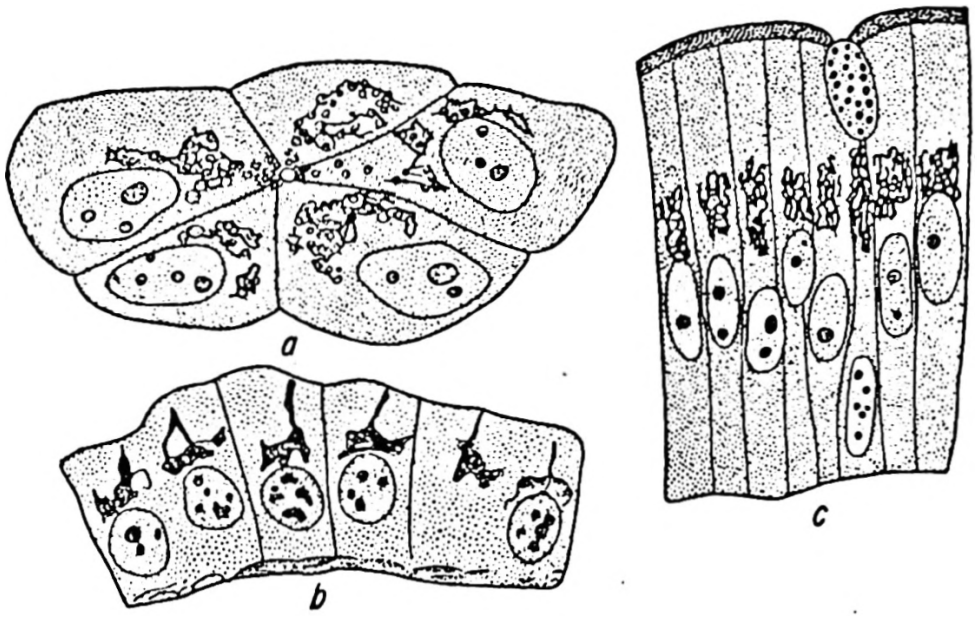


FIG. 19. Aparato endocelular (de Golgi): *a*, en las células del páncreas; *b*, en el epitelio intestinal; *c*, en la glándula tiroides.

El citocentro o centrosoma lo constituyen dos diminutos gránulos o *centriolos*, circundados por una parte de citoplasma especialmente diferenciada, la *centrosfera* (fig. 20). Es frecuente observar alrededor del centrosoma una

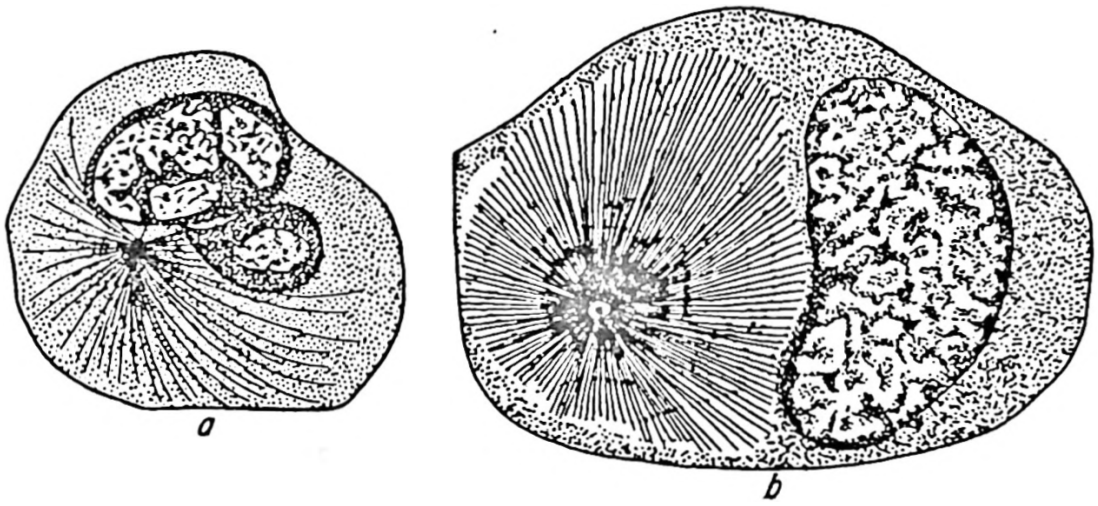


FIG. 20. Estructura del centrosoma: *a*, leucocito; *b*, espermatogónida.

especie de aureola integrada por hilos o estrías de citoplasma distribuídas radialmente. Por lo común, el centrosoma se encuentra en las inmediaciones del núcleo, aunque a veces aparece en su interior. Se ha logrado establecer que el centrosoma sufre cambios durante la división de la célula. En muchos casos se ha observado un enlace anatómico del centrosoma con diferentes organoides de movimiento de la célula (flagelos, filamentos axiales, cola de los espermatozoides).

Existen centrosomas en todas las células animales y en las plantas inferiores; carecen de ellos los vegetales superiores.

Membranas celulares. En la superficie de las células se diferencian unas estructuras especiales, que son las membranas. Las células animales no siempre poseen membranas visibles al microscopio. Es más patente su existencia en las células vegetales. En este último caso la sustancia principal de que se componen es la celulosa.

Las células vegetales jóvenes tienen una membrana muy fina, que se va endureciendo a medida que la planta se desarrolla. Además de la edad, influyen en el carácter de las membranas otros factores. Por ejemplo, en condiciones desfavorables se forman capas superficiales muy consistentes y aisladoras (quistes en los animales inferiores y esporas en los vegetales).

Inclusiones. Son inclusiones los productos nutritivos de reserva y otras sustancias del metabolismo intracelular. En algunos casos, los hidratos de carbono se acumulan en las células en muy grandes cantidades; suelen ser polisacáridos, es decir, combinaciones insolubles. Por ejemplo, la fotosíntesis puede dar origen en las células vegetales (en el citoplasma o en los cloroplastos) a *gránulos de almidón.* En las células animales, las inclusiones de hidratos de carbono son de *glucógeno* o almidón animal. Abunda especialmente el glucógeno en las células del hígado; también se encuentra en relativa cantidad en los músculos. Los hongos tienen inclusiones semejantes por su composición al glucógeno.

También son productos de la actividad vital y al mismo tiempo reservas nutritivas las *gotas de grasa,* que se observan tanto en las células vegetales como en las animales, y también las reservas de albuminoideas.

Estas forman parte, a veces en enormes cantidades, de los gránulos de la yema del huevo. Los *granos de aleurona* de las células vegetales que existen, por ejemplo, en el endospermo de la semilla de muchos cereales, son también inclusiones albuminoideas, y también hay albuminoides formando parte de gránulos secretorios de diferentes células glandulares.

El número de inclusiones es muy inconstante; depende en extremo del estado fisiológico de la célula.

Una característica de las células vegetales, en comparación con las animales, es la presencia de vacuolas, gotitas de líquido que aparecen en el citoplasma en el período de desarrollo de la célula. El conjunto de vacuolas de una célula se denomina vacuoma. Las vacuolas puden contener en disolución sales minerales, sustancias azucaradas y pigmentos. Estos últimos dan el color rojo, violeta, azul, etc., a los pétalos de las flores y a algunas otras partes de las plantas, como, por ejemplo, a la raíz de la remolacha.

Como resumen de todo lo dicho acerca de la estructura de la célula, es necesario observar que las células animales y vegetales se asemejan, en lo que respecta a sus características fundamentales, por la existencia de citoplasma y núcleo. Ahora bien, las células animales se diferencian de las vegetales en algunos rasgos, como es la diferente estructura de la membrana, la carencia de plástidas y vacuolas de tipo vegetal y la presencia de centrosomas, que no aparecen en las células de las plantas superiores.

PROPIEDADES OSMOTICAS DE LA CELULA

Las sales que forman parte del citoplasma y del jugo celular originan dentro de la célula una determinada *presión osmótica,* que puede ser diferente en distintas células y distintos organismos. Por ejemplo, la presión osmótica, que en las células de los animales terrestres llega a ocho atmós-

feras, alcanza a 38 en los animales marinos, y en algunas plantas adaptadas para vivir en climas muy secos, las xerofitas, llega a 100 atmósferas. La gran presión osmótica dentro de las células de tales plantas explica en gran parte su facultad de almacenar agua y, por otro lado, de obtenerla del suelo, aunque se halle en cantidades ínfimas.

Si colocamos una célula en una solución de mayor presión osmótica, la célula comenzará a perder agua y disminuirá de volumen, se encogerá. En las células vegetales, rodeadas como están de una resistente capa de celulosa y que tienen una vacuola central, llena de jugo celular, la pérdida de agua da lugar a que el citoplasma se separe de la membrana celulósica, fenómeno que se conoce con el nombre de *plasmólisis* (fig. 21). A la vez que se produce la plasmólisis, debida a la disminución de la presión del protoplasma sobre las membranas de las células, disminuye la presión que en sentido contrario ejerce la membrana celular (turgescencia); la membrana pierde su elasticidad. La presión relativa entre las células vecinas disminuye. Esto explica los fenómenos que caracterizan el marchitamiento de las plntas. Las soluciones cuya presión osmótica es superior a la celular se llaman *hipertónicas*. Cuando la célula se encuentra en una solución de presión osmótica inferior a la suya (*hipotónica*), el agua penetra en la célula y ésta comenzará a hincharse. En las plantas, se traduce en un aumento de la turgescencia, que proporciona al vegetal la solidez necesaria.

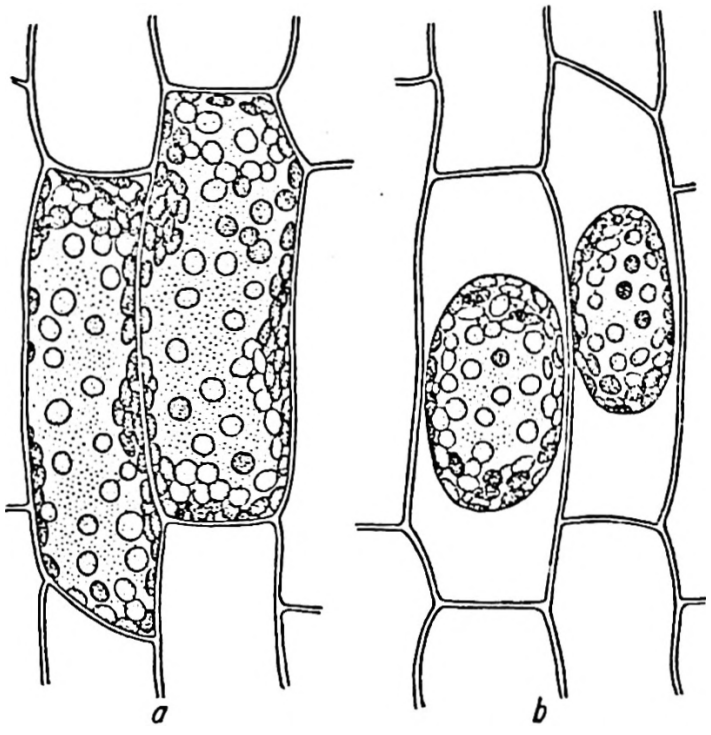


FIG. 21. Células normales (*a*) y de una hoja de *Elodea* (*b*), en estado de plasmólisis.

Las partes jóvenes de los vegetales, que aún no han podido desarrollar tejidos mecánicos de sostén, se fortalecen únicamente gracias a la turgescencia. Las células vegetales se separan cuando se las coloca en una solución hipotónica.

Por último, al introducir las células en soluciones *isotónicas*, es decir, de igual presión osmótica que la suya, el volumen de la célula no varía. Las soluciones fisiológicas utilizadas en experimentos realizados con órganos aislados, en trabajos con células sueltas y también en la práctica médica son isotónicas.

La isotonía se logra añadiendo al agua sal común (0,75 por ciento para los animales de sangre fría y 0,9 para los mamíferos). Las distintas soluciones fisiológicas se componen generalmente de cloruros de sodio, potasio y calcio.

PENETRACION DE LAS SUSTANCIAS EN LA CELULA

Hasta no hace mucho se consideraba que la penetración en la célula de las diferentes sustancias nutritivas, los venenos, los narcóticos, etc. (su permeabilidad) dependía por completo de las propiedades de la capa superficial del citoplasma o de la membrana celular. También se recurría a las características de la membrana para explicar fenómenos tales como la excitación, la narcosis, etc. Diferentes autores le atribuían a la membrana distintas propiedades.

Algunos afirmaron que la superficie de la célula está cubierta por un capa de lipoides, a través de la cual pueden pasar únicamente las sustancias solubles en ellos; es la llamada teoría lipoidal de la permeabilidad. Esta teoría, basada en el estudio de la penetración en la célula de diferentes sustancias venenosas y medicinales, no fue capaz de explicar la entrada de combinaciones fisiológicamente tan importantes como el azúcar y los aminoácidos.

Entonces apareció la teoría del mosaico, según la cual la capa superficial de la célula está constituida por capas sucesivas de diferentes naturaleza química: lipoides y albuminoideas. A través de las primeras pasan las sustancias solubles en los lipoides; a través de las segundas, las hidrosolubles. Esta teoría es también totalmente arbitraria y no concuerda con los hechos. Finalmente, para explicar las leyes de penetración de las sustancias en la célula se enunció la teoría del tamiz, la cual considera que la superficie de la célula está llena de orificios, únicos lugares por donde pueden penetrar las sustancias. Según esta teoría, son capaces de penetrar en la célula tan sólo las sustancias de diámetro menor o igual al de los poros. Las moléculas y partículas de mayor tamaño quedan detenidas por la capa superficial.

Las teorías de la permeabilidad eran en realidad mecanicistas; no prestaban la atención necesaria al contenido de la célula; su interés es puramente histórico.

Las investigaciones de una serie de científicos soviéticos demuestran que la penetración de sustancias en la célula depende del *estado de todo el protoplasma*, y no sólo de las propiedades de la capa superficial. La velocidad de penetración y la intensidad con que se acumulen unas u otras combinaciones depende de cómo las concatene el protoplasma, lo cual, a su vez, depende del estado fisiológico de la célula y de la acción del medio ambiente.

LESIONES Y MUERTE DE LA CELULA

Las células pueden vivir y funcionar normalmente sólo cuando se den condiciones exteriores determinadas. En presencia de factores nocivos, como la elevada temperatura, los productos tóxicos, etc., la célula sufre lesiones que pueden conducir a su muerte.

A lo largo del proceso vital, las células se desgastan y mueren, variando mucho su período de vida: por ejemplo, los glóbulos rojos del hombre viven cerca de treinta días; las células del tejido conjuntivo, de dos a tres años; las células nerviosas pueden durar lo que la vida del organismo. En sustitución de las células que se van destruyendo aparecen otras.

MULTIPLICACION CELULAR

Durante muchas decenas de años dominaron en Biología las teorías de Virchow de que la célula puede proceder solamente de una célula anterior

a ella. Esta concepción fue criticada por O. B. Lepeshínskaia, quien descubrió en numerosos ejemplares la formación de nuevas células a partir de materia viva desprovista de estructura celular.

Sin embargo, algunos de los experimentos de Lepeshínskaia fueron puestos en tela de juicio.

El problema de la formación de nuevas células a partir de materia viva desprovistas de estructura celular y la cuestión de los procesos de multiplicación celular exigen un estudio profundo en todos los aspectos.

Hay dos tipos fundamentales de multiplicación celular: *división directa* o *amitósica* y *división indirecta, por cariocinesis* o *mitosis*. En la amitosis se produce una división del núcleo en dos o más partes, estrangulándose después el cuerpo de la célula. En este proceso no se han logrado establecer distribuciones regulares en el interior del núcleo. En la superficie del núcleo aparece un *estrechamiento,* que al profundizarse da lugar a su división en dos partes. Después puede producirse la división del citoplasma, aunque, a veces, no sucede así, formándose entonces células binucleares.

Aparte de la división del núcleo en dos por estrangulamiento, puede tener lugar también una especie de *desintegración* nuclear, como se observa,

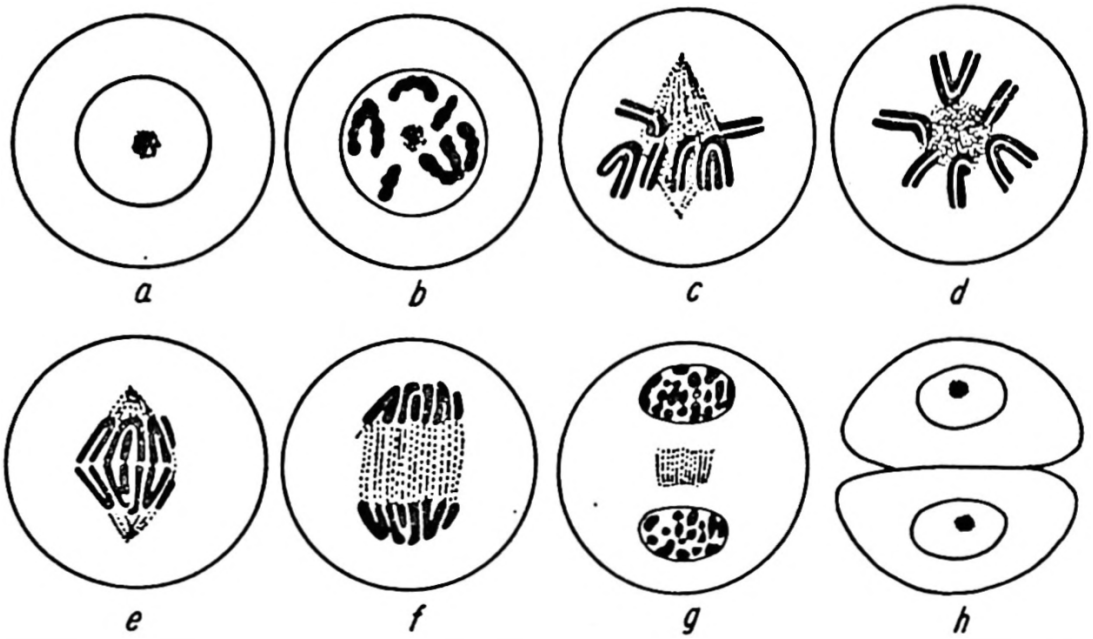


FIG. 22. Esquema de la mitosis celular: *a*, interfase; *b*, profase; *c*, metafase (vista de perfil); *d*, metafase (vista desde el polo); *e*, comienzo de la anafase; *f*, fin de la anafase; *g*, telofase; *h*, interfase.

por ejemplo, en las células hepáticas. En numerosos casos se ha podido observar la formación de varios núcleos a partir de uno, por *fragmentación* de éste.

La cariocinesis o división por mitosis es un proceso *complejo* de división de las células, que se caracteriza por transformaciones estructurales de la célula regulares y sucesivas, formándose a expensas de la cromatina nuclear unos elementos estructurales especiales, los *cromosomas*. En la división indirecta se observan también cambios en las propiedades de toda la célula.

La división celular indirecta fue descubierta por I. D. Chistiakov, en 1874 en las células vegetales y estudiada con detalle por Strasburger y Flemming.

En la cariocinesis se acostumbra a distinguir cuatro fases: *profase, metafase, anafase* y *telofase.* En realidad, se trata de un proceso único, ligado al desarrollo de la célula, una etapa de su actividad vital. El estado de las células en los intermedios entre las divisiones se llama *interfase* o *intercinesis* (fig. 22 *a, h*). Son típicas de la intercinesis, que es característica de la actividad vital, la estructura del núcleo y del citoplasma que fueron estudiadas al describir la célula.

La primera etapa de la división se denomina *profase* (fig. 22 *b*); en ella se van formando unas estructuras *filamentosas* o *granulares,* los cromosomas (del griego *chroma,* color), que deben el nombre a su afinidad por ciertos colorantes. Una vez formados los cromosomas del núcleo, desaparece la membrana nuclear y aquéllos quedan en el seno del citoplasma. Entonces se forma en éste el segundo componente variable de la figura cariocinética, el *huso acromático.* Al final de la profase el nucleolo se disuelve y desaparece.

Terminada la profase, entra la célula en la siguiente etapa de la división mitósica (fig. 22, *cd, d*). En esta fase, los cromosomas, que hasta entonces se encontraban sin orden alguno o arrollados en ovillo, se orientan en forma regular, agrupándose en la región central de la célula, generalmente en un plano, hasta llegar a constituir una figura semejante a una estrella. Esta fase se llama también *estrella madre* o *placa ecuatorial.* En la metafase se hace visible la escisión longitudinal, que ha de dividir en dos el cuerpo de cada cromosoma. El huso acromático ya está completamente formado.

En la anafase (fig. 22, *e, f*), que sigue a la metafase, las mitades de cada cromosoma comienzan a alejarse hacia los extremos opuestos de la célula, agrupándose en los polos del huso. Allí constituyen dos *estrellas hijas* y luego sendos espiremas. La anafase abarca el período comprendido entre el comienzo de la separación de las mitades del cromosoma y su concentración en los extremos opuestos de la célula.

Después de ello, la célula entra en la última fase de la cariocinesis, la telofase (fig. 22, *g*), durante la cual se forman dos nuevos núcleos y se separan las mitades de la célula dividida. En lugar de una, resultan dos células. Con ello termina la división y la célula pasa a la interfase.

CARACTERISTICAS DE LA CARIOCINESIS

Una vez expuestos a rasgos generales los cambios que se producen en la cariocinesis es necesario detenerse con más detalle en algunos puntos de este proceso que son de interés general.

Conviene empezar el estudio por la formación y la estructura del cromosoma. La acertada solución en cuanto a los procedimientos de formación del cromosoma —íntimamente relacionada con la crítica de la teoría cromosómica de la herencia— es de gran importancia. Dicha teoría (de Weismann-Morgan) afirmaba que los cromosomas son los únicos portadores de la herencia, la cual es invariable y no depende del metabolismo y de las condiciones de vida. Los defensores de esta teoría consideran los cromosomas como individualidades que pasan sin modificarse de una célula a otra, de un organismo a todos los siguientes. Partiendo de esto, los partidarios de la hipótesis Weismann-Morgan afirman que los cromosomas se conservan también durante la intercinesis, modificando únicamente su fisonomía. Con

los cromosomas guardan correspondencia las estructuras del retículo nuclear.

Semejantes concepciones no están de acuerdo con la realidad. Las investigaciones de una serie de autores demuestran que los cromosomas aparecen *de nuevo* en cada profase. El proceso de formación de los cromosomas es una de las muestras de la capacidad formativa ingénita de cada célula (P. V. Makárov).

Los cromosomas son estructuras de *carácter temporal,* que se forman únicamente durante la cariocinesis. Esto acaba con la teoría de la continuidad del cromosoma, suprime la base morfológica de la concepción del producto inmortal de la herencia.

La estructura, la forma y el número de cromosomas suelen investigarse en la metafase, es decir, en la fase de la placa ecuatorial. La configuración de los cromosomas puede *variar,* no sólo en los diferentes organismos, sino en una misma célula. Pueden presentar la forma de filamentos, de bastoncillos o de gránulos. Es frecuente verlos encorvados, semejantes a ángulos, horquillas, etc.

El número y la forma de los cromosomas que se originan en la profase dependen de la especie. Por ejemplo, en las espirogiras suele haber 24 cromosomas; en el trigo, 42; en la cebolla, 16; en la lombriz de tierra, 32; en el cangrejo de río, 116; en la *Drosophila,* 8; en la gallina, 18; en la vaca, 38; en el hombre, 48, etc.

Sin embargo, el número de cromosomas no es en sí un carácter sistemático. Basta con citar los siguientes ejemplos: 24 cromosomas aparecen en organismos tan diferentes como las cucarachas, las ranas, las salamandras, las espirogiras, el pino, la tomatera y el limonero: 12 cromosomas en la hidra, las moscas y las habas; 48 cromosomas en el caracol, las hormigas, el hombre, la violeta japonesa, etc.

Los partidarios de la teoría cromosómica de la herencia defienden las llamadas leyes de la constancia del número y la forma de los cromosomas, que, según ellos, son magnitudes invariables.

Pero desde hace tiempo se ha acumulado gran cantidad de material demostrativo de la *variabilidad del número de cromosomas,* y no

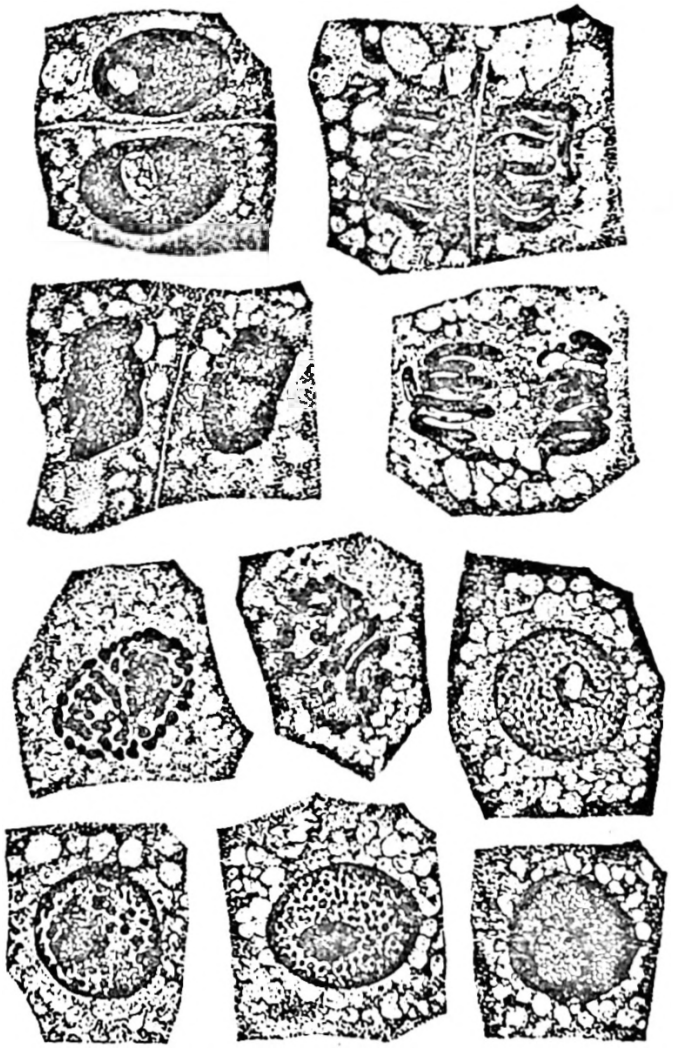


FIG. 23. Proceso de la formación de los cromosomas.

sólo en las células de los diferentes organismos de una misma especie, sino incluso en los diversos tejidos de un mismo organismo, y hasta en distintas células de un mismo tejido.

Estos y otros muchos datos, obtenidos en la investigación citológica de animales y vegetales, nos llevan a la conclusión de que únicamente podemos hablar de la constancia *relativa* de los cromosomas.

La forma de los cromosomas es también relativamente constante. Al variar las condiciones externas, por ejemplo, cuando disminuye la temperatura, la forma de los cromosomas cambia rápidamente. Lo mismo se observa en células idénticas que se encuentren en fases diferentes de desarrollo. En ellas los filamentos se transforman en gránulos, los gránulos de nuevo en filamentos, y así sucesivamente.

Por tanto, no hay razón alguna para hablar de la constancia en el número y la forma de los cromosomas como de algo definitivo. Lo mismo que otros caracteres, éstos también pueden modificarse.

La forma y el número de los cromosomas van unidos a la historia anterior de la célula y dependen de las condiciones de su formación.

En la telofase, los cromosomas no se limitan a cambiar sus caracteres, sino que *se deshacen,* desaparecen, dejando de existir como tales. La materia que los integra pasa a formar parte del núcleo celular en la interfase. Se ha logrado seguir el proceso de su descomposición paulatina y el paso de las materias que constituyen el cromosoma al estado de dispersión coloidal (fig. 23).

MODIFICACIONES QUE EXPERIMENTA LA CELULA EN LA CARIOCINESIS

Como ya hemos señalado, las transformaciones que se producen en la célula durante su división no se limitan al núcleo; tiene lugar una profunda reestructuración de toda la célula. En la división por mitosis varían profundamente los condriosomas, las plástidas, el aparato reticular y el citocentro o centrosoma.

Generalmente, durante la profase los condriosomas se reparten más o menos uniformemente por todo el citoplasma. Después, se acumulan en la zona del huso acromático y comienzan paulatinamente a concentrarse en dos polos opuestos, para más adelante agruparse alrededor de los cromosomas en la anafase.

En algunos casos se ha observado una división de las plastidas, anterior a la de la célula; así ocurre cuando el número de aquéllas no es muy elevado.

El aparato reticular sufre modificaciones muy claras durante la cariocinesis. Sus formas reticulares se descomponen en la profase en partes aisladas, uniformemente repartidas por el citoplasma. Después, estas partes aisladas se acumulan en los polos opuestos de la célula para volver a formar retículos en cada una de las nuevas células, una vez terminada la división.

Son completamente definidas las variaciones que experimenta el citocentro durante la división. Los centrosomas se separan en diferentes direcciones, situándose en los extremos opuestos del huso acromático.

La cariocinesis modifica *el carácter químico de las células.* Se suceden transformaciones cíclicas en lo que respecta a la cantidad y distribución de los aminoácidos, de las sales minerales, etc. En las diferentes fases de la división por mitosis hay una redistribución del ácido ribonucleico entre el

citoplasma, los cromosomas y el nucleolo. Varían la viscosidad y el índice de refracción de la célula.

Las observaciones llevadas a cabo en seres vivos ponen de relieve nuevos aspectos, importantes para comprender la división celular; sobre todo la fotografía microscópica revela los cambios que se suceden en las células en división. Procedimientos especiales permiten seguir en la pantalla con todo detalle el proceso de división de la célula viva. El citólogo soviético V. I. Favorski ha recogido en película la división de las células que forman los filamentos estaminales de la tradescancia. El movimiento pausado, en forma de remolino, típico de las células de estos filamentos en estado de "reposo", se interrumpe durante la división. El movimiento del citoplasma en el proceso de cariocinesis recuerda el de los líquidos en ebullición. Cuando las células hijas se han formado, se reanuda el movimiento pausado del citoplasma.

A veces, las células resultantes de la división no se distinguen en nada por su configuración externa. Semejante parecido morfológico puede conducirnos a la falsa idea de su identidad. En algunos casos, la diferencia puede ser también morfológica, como sucede, por ejemplo, en la primera división del grano de polen de las angiospermas, en donde se ve claramente la diferencia entre las dos células originadas, la vegetativa y la generativa.

CAUSAS DE LA DIVISION CELULAR

La división de la célula representa una *etapa de su desarrollo.* A pesar de ello, entre los biólogos circulaban hasta hace poco teorías que explicaban el problema de la división celular de un modo metafísico.

Es necesario dedicar unos renglones a las teorías que tratan de hallar una causa exterior universal, a modo de un impulso venido de fuera, para explicar el comienzo de la división celular.

Una de esas teorías, debida a Haberlandt, es la de las "hormonas de las heridas".[5] Se basa en el conocidísimo hecho de que alrededor de la región en que los tejidos han sido dañados o heridos se intensifica la división celular.

La primera objeción a esta teoría es que, de ordinario, la división de las células *no va unida a una herida.* Por otra parte, se comprende que un trastorno tan brusco de la actividad vital normal como es una herida dé lugar a profundas modificaciones del metabolismo, no sólo en la célula dañada, sino también en las vecinas.

Los cambios en el metabolismo alteran el proceso de desarrollo mediante el cual las células llegan a dividirse. En este caso, el trastorno se refleja en una aceleración de tal desarrollo celular.

Por lo tanto, esta teoría concede, sin razón, excesiva importancia a la explicación de un caso excepcional, dándole un alcance general.

A. G. Gúrvich es el autor de la teoría de los "rayos mitogenéticos"[6], según la cual la causa de la división molecular son unas ondas ultracortas especiales producidas por otras células. Las mismas objeciones de principio hechas a la teoría de las "hormonas de las heridas" valen también para la teoría de los "rayos mitogenéticos".

[5] Hormonas son sustancias elaboradas por las glándulas de secreción interna, que llegan a la sangre e influyen en la actividad vital del organismo.

[6] Mitogenético, que produce mitosis (división de las células); de las palabras *mitosis* y *genesis,* origen.

Es evidente que el problema de la división celular solamente puede resolverse partiendo del principio del desarrollo. Es el proceso de la actividad vital de la célula el que la prepara para su división; a lo largo de su desarrollo es precisamente cuando se van originando los pequeños cambios, imperceptibles al principio, que conducen a la cariocinesis. En este sentido puede hablarse de ontogénesis[7] de la célula (B. P. Tokin).

Durante la cariocinesis, cada una de las fases precedentes prepara las condiciones para que la célula pase a la fase siguiente. Sin pasar por cada etapa de la división por mitosis, no puede realizarse la siguiente. Hemos de tener en cuenta que cada fase exige unas condiciones especiales, relacionadas con el carácter y la intensidad del metabolismo. Así, por ejemplo, en la metafase se necesita que se forme el huso, lo que solamente puede realizarse en presencia de una viscosidad determinada. Si al advenir tal o cual fase no se dan las condiciones necesarias, el proceso de división se interrumpe o se altera su curso normal. Es así como se ha logrado la poliploidia, es decir, el aumento del número de cromosomas en comparación con el que presentan las células vegetativas y que es el normal en cada especie determinada. Es interesante señalar que en este caso las células conservan viabilidad y además adquieren nuevos rasgos (aumento de las dimensiones, etcétera).

Es indudable que la actividad cariocinética de las células en los organismos pluricelulares depende del estado del animal o de la planta. Por ejemplo, respecto a estas últimas se ha logrado establecer una íntima relación entre la velocidad de división, las condiciones exteriores y la hora. Para muchas plantas la frecuencia mayor de la mitosis corresponde a la noche; la menor, al día.

También se ha observado en los animales oscilaciones diarias en la intensidad de las divisiones, lo cual puede guardar relación con los cambios cíclicos del metabolismo de todo el organismo. La mitosis de los ratones, por ejemplo, es al mediodía tres veces mayor que por la noche. Según los últimos datos, el estado del sistema nervioso influye en la intensidad de la división celular del organismo animal.

Muchos autores han establecido que las hormonas de las glándulas de secreción, especialmente la glándula tiroides, estimulan la mitosis. Se han descrito también diferencias en la actividad de la mitosis en relación con el embarazo, después de la castración, etc.

CONCLUSIONES

1. La teoría celular es una de las grandes conquistas de la ciencia. Ha demostrado la unidad del mundo orgánico y ha preparado las mentes para comprender las ideas relativas al desarrollo de la naturaleza viva.

2. R. Virchow convirtió la teoría celular en una rama de la Medicina, al mostrar la relación entre los procesos patológicos y los cambios que se suceden en las células del organismo. Ello significa un avance, ya que estimuló el estudio de los cambios morfopatológicos de los órganos y tejidos en distintas enfermedades, facilitando el diagnóstico.

3. Mas el hecho de que Virchow no reconociese la unidad de todo el

[7] Ontogénesis, desarrollo individual.

organismo, la dependencia del proceso patológico local respecto a las alteraciones en las actividades de todo él, repercutió negativamente sobre la Medicina. La idea de Virchow de un "estado celular" es metafísica; subestima la complejidad del organismo como un todo.

4. Los puntos de vista de Virchow fueron sometidos a crítica por algunos investigadores rusos, que en contraposición sugirieron la idea del neurismo (I. M. Séchenov, I. P. Pávlov y otros); el neurismo refleja un concepto más completo acerca de la integridad del organismo y de su unidad con el medio ambiente.

5. La célula es la unidad estructural básica del organismo. Las formas de vida precelulares que existen en la actualidad (virus, bacteriófagos, etc.) son un claro testimonio de la evolución de las sustancias albuminoideas. La afirmación de Virchow de que la célula es la única forma de vida no corresponde a la realidad. Significó un freno para el estudio de las múltiples manifestaciones de vida que ofrecen todas las partes del organismo.

6. La división de la célula es resultado de su desarrollo. Las teorías sobre división celular propuestas con anterioridad no aceptaban el desarrollo de la célula y consideraban que había que buscar en un impulso externo la causa de la división celular. Cualquier causa parcial que acelerase el proceso de maduración celular era considerada como fundamental en esta división.

7. La ausencia de diferencias externas entre dos células formadas por división no demuestra su identidad, ya que pueden divergir notablemente en lo que respecta a sus cualidades vitales.

CAPITULO III

IRRITABILIDAD

La irritabilidad o excitabilidad es la propiedad inherente a todo ser vivo de *reaccionar ante la influencia del medio exterior o los cambios internos* del propio organismo. Esta propiedad se traduce en la facultad de los seres vivos para pasar de un estado de relativo reposo a otro de acusada actividad. Se debe al metabolismo y es consecuencia del desarrollo de los organismos en estrecha relación con el medio en que viven. Las modificaciones del medio exterior dan lugar a cambios en el metabolismo orgánico, lo que determina a su vez la reacción del organismo.

Desde el punto de vista biológico general, irritabilidad y excitabilidad son conceptos idénticos. Sin embargo, se acostumbra a utilizar el término de "excitabilidad" en un sentido más limitado, aplicándolo a los organismos animales de organización superior, que poseen tejidos nerviosos, musculares y glandulares.

La irritabilidad es la base de la adaptación de los cuerpos vivos a las condiciones de su existencia, que varían continuamente.

La acertada concepción materialista del origen de la irritabilidad, y sobre todo de sus formas superiores, quedó expuesta en los trabajos de tan esclarecidas figuras de la ciencia rusa como I. M. Séchenov, N. E. Vvedenski e I. P. Pávlov, que enfocaron el estudio de la irritabilidad desde un punto de vista histórico, tomando como base la unidad del organismo y el medio en que vive.

Cada animal o vegetal está sometido a la influencia de distintos factores del medio; algunos de ellos le son indiferentes; otros, en cambio, tienen gran importancia para él. Debido a ello, los organismos han adquirido a lo largo del proceso de su desarrollo filogenético cierto grado de *selectividad*. No reaccionan ante cualquier variación del medio exterior, sino tan sólo a los cambios de aquellos factores que tienen para ellos una importancia vital.

Los factores del medio ante los cuales reacciona el organismo se llaman *estímulos*. Su naturaleza puede ser diversa: 1) física (oscilaciones de la temperatura, influencias mecánicas, variaciones de intensidad de la luz, etc.); 2) química (cambios de la constitución química del medio exterior o interno del organismo); 3) biológica (la influencia de otros organismos, v. g., los parásitos).

El estímulo mínimo capaz de originar una reacción del organismo se denomina *umbral de irritación* o *umbral de excitación*.

La reacción a los estímulos obedece en el fondo a un cambio del metabolismo, que va acompañado de un cambio de energía. Esta reacción se caracteriza por una serie de rasgos específicos.

La intensidad o fuerza de reacción del organismo puede *superar a la intensidad del estímulo;* por ejemplo, una débil corriente eléctrica hace que los músculos de la rana se contraigan y levanten un peso de varias decenas de gramos.

El punto en que aparece la reacción *no siempre coincide con el lugar en que fue aplicado el estímulo.* La reacción puede coincidir en un principio con dicho punto, extenderse después a las regiones vecinas y finalmente a todo el organismo. Puede no haber reacción ninguna en el lugar donde el estímulo se aplica y aparecer en cambio en una parte alejada del cuerpo. En tales casos nos encontramos con la *conductibilidad* de la irritación.

Un rasgo importante de la reacción es su *carácter específico.* Cada uno de los sistemas de un organismo pluricelular responde a las acciones más diversas de un modo propio y característico suyo.

A cualquier estímulo, bien sea mecánico, térmico, químico o eléctrico, los músculos responden contrayéndose; el ojo, con una sensación de luz; las glándulas, con una secreción.

Por último, la reacción al estímulo se caracteriza por su *repetición.* Por ejemplo, el músculo se relaja después de haberse contraído al aplicarle un estímulo y puede volver a contraerse al repetirse éste. En tales casos, el sistema susceptible de irritarse entre los diferentes estímulos debe permanecer en estado de reposo. Durante ese tiempo el metabolismo restablece su facultad de reaccionar.

La gran diversidad de formas en que se manifiesta la irritabilidad se originó a lo largo de la evolución del mundo orgánico como eslabones de una cadena de fenómenos, de conformidad con el desarrollo de los mecanismos y según sus condiciones de vida.

En su forma más primitiva, la irritabilidad se manifiesta en la reacción motriz del protozoario: su expresión más compleja es la actividad psíquica del hombre.

Los primeros seres vivos poseían ya en cierto grado la facultad de irritarse, necesaria para apoderarse de los alimentos y asimilarlos. Esta forma de irritabilidad hubo de estar relacionada con el movimiento ameboideo y con la facultad de contracción de todo el protoplasma. Dichas formas se relacionaban con el medio ambiente a través de las actividades químicas, gracias a la acción que sobre el protoplasma ejercían los agentes químicos del medio.

En el proceso de evolución se fueron complicando las relaciones entre los organismos y el medio en que vivían. Las plantas y los animales actuales reaccionan de diferente forma a los estímulos exteriores según su grado de organización y de adaptación a las condiciones de vida.

FORMAS MAS SIMPLES DE IRRITABILIDAD

En los animales y plantas inferiores (cuando no están fijas) la reacción al estímulo se manifiesta por el movimiento de todo el cuerpo.

Las reacciones motoras, cuya dirección depende de la dirección en que actúen los estímulos, se llaman *taxias* o *taxis.*

Los animales y vegetales inferiores modifican la dirección de su movimiento según varíe la fuerza del estímulo que actúa sobre ellos de forma unilateral.

De acuerdo con el carácter de los estímulos podemos considerar la quimotaxia, o reacción a los agentes químicos del medio; la fototaxia, o reacción a la luz; la hidrotaxia, a la humedad; la reotaxia, al movimiento del medio ambiente, etc. El movimiento en la dirección del estímulo determina la taxia *positiva;* en dirección opuesta, la taxia *negativa.*

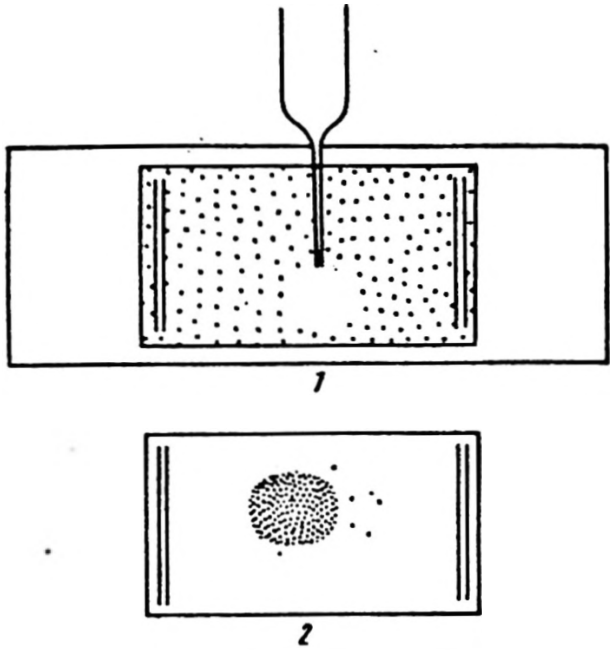


FIG. 24. Quimotaxis en los seres unicelulares. 1, quimotaxis negativa por efecto de un líquido introducido con una pipeta debajo del cubreobjetos; 2 quimotaxis positiva.

Gracias a las taxias los protozoarios pueden orientarse en el espacio, encontrar el alimento necesario y las condiciones más favorables de temperatura y humedad, evitar las condiciones que les son desfavorables o funestas, etc. Así, si observamos al microscopio los infusorios de una gota de agua veremos que se agrupan alrededor de las partículas que pueden servirles de alimento, o, por el contrario, se alejan del lugar en que se ha introducido un ácido (fig. 24).

Una reacción positiva a la luz puede transformarse en negativa si aumentamos la ación del estímulo. Se ha observado que estímulos repetidos, que al principio originan una reacción negativa, acaban por convertirse en habituales para el organismo, transformando la reacción en positiva. Así, pues, se ha logrado observar experimentalmente la adaptación de los protozoarios a condiciones de vida variables.

Los vegetales superiores, que viven fijos, reaccionan a los estímulos unilaterales desplazando parte de su cuerpo. Estas reacciones se llaman *tropismos.*

Los tropismos pueden ser, igual que las taxias, *positivos* y *negativos,* denominándose según sea el estímulo (foto y quimotropismos).

La reacción de las distintas partes del vegetal ante un mismo estímulo no es la misma; por ejemplo, ante la fuerza de la gravedad (geotropismo) el tallo de las plantas presenta un geotropismo negativo, crece hacia arriba; en cambio, la raíz cuya geotropismo es positivo crece hacia abajo.

Bajo la acción del estímulo las partes del vegetal (tallo, hojas) realizan desplazamientos muy amplios. Por ejemplo, a causa de los rayos solares, la flor del girasol efectúa durante el día una vuelta casi completa, del Este al Oeste, lo que le permite utilizar la luz al máximo.

Al variar las condiciones, la reacción positiva puede convertirse en negativa, y viceversa. Se distinguen también los tropismos *transversales, plagiotropismos* o *diatropismos,* que tienen lugar cuando la planta se coloca perpendicularmente a la dirección en que actúa el estímulo. Por ejemplo, bajo la influencia de bajas temperaturas en las regiones septentrionales, el geotropismo negativo del tallo (reacción a la fuerza de la gravedad) puede

transformarse en ciertos vegetales en diageotropismo; el tallo crece paralelamente a la superficie de la tierra (fig. 25).

Las taxias y los tropismos tienen importancia vital. Estas formas de irritabilidad, características de organismos que carecen de estructuras de reacción altamente especializadas, aseguran la selectividad de las reacciones con respecto a las condiciones de vida, que se hallan en permanente cambio.

FIG. 25. *Lycopodium elevatum.*

Un grado más elevado en el desarrollo de la irritabilidad representan las *nastias*, reacciones motoras típicas de algunas plantas, que no se relacionan con la dirección del estímulo. En las nastias hay ya elementos de transmisión a distancia de la irritabilidad. Por ejemplo, al tocar las hojas de la mimosa púdica, éstas se pliegan y se inclinan hacia abajo. La irritación puede afectar a una sola parte de la planta o, en cambio, entrar en reacción partes alejadas de ella. Son un ejemplo muy típico de nastias los complicados movimientos de las plantas insectívoras. La drosera, por ejemplo, tiene las hojas cubiertas de pelos terminados por su parte superior en pequeñas glándulas que segregan un jugo viscoso (fig. 26). Cuando el insecto,

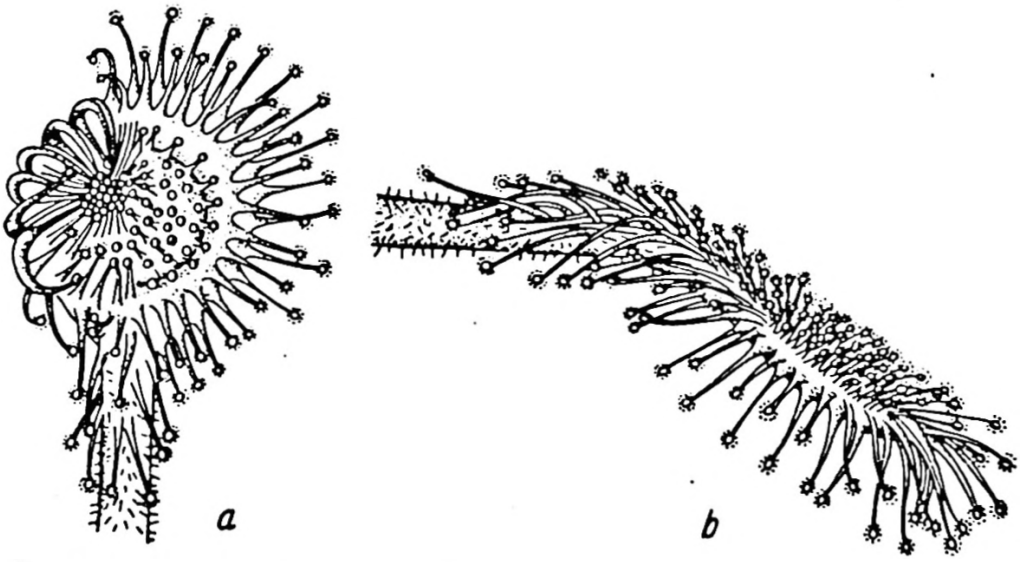


FIG. 26. Hojas de *Drosera rotundifolia*: *a*, hoja vista por encima, con parte de los tentáculos abatidos alrededor de la presa; *b*, hoja en reposo, vista de perfil.

atraído por las brillantes gotas, se posa en la hoja, ésta le retiene, al quedarse pegado a ese jugo. Los pelos comienzan a moverse, primero en la dirección en que se posó el insecto, y luego en la contraria; así, el insecto

se ahoga en el líquido y es digerido por el vegetal. Después de ello, los pelos vuelven a ocupar la posición primitiva.

Las hojas de la dionea o atrapamoscas constan de dos valvas, que se cierran al contacto del insecto (fig. 27). Las diferentes plantas insectívoras disponen de mecanismos diversos para llevar a cabo esta operación. El ejemplo más frecuente de nastia en los vegetales es el acto de cerrarse durante la noche la corola de algunas flores, para luego volverse a abrir al comenzar el día; en este caso el estímulo es la sucesión del día y la noche.

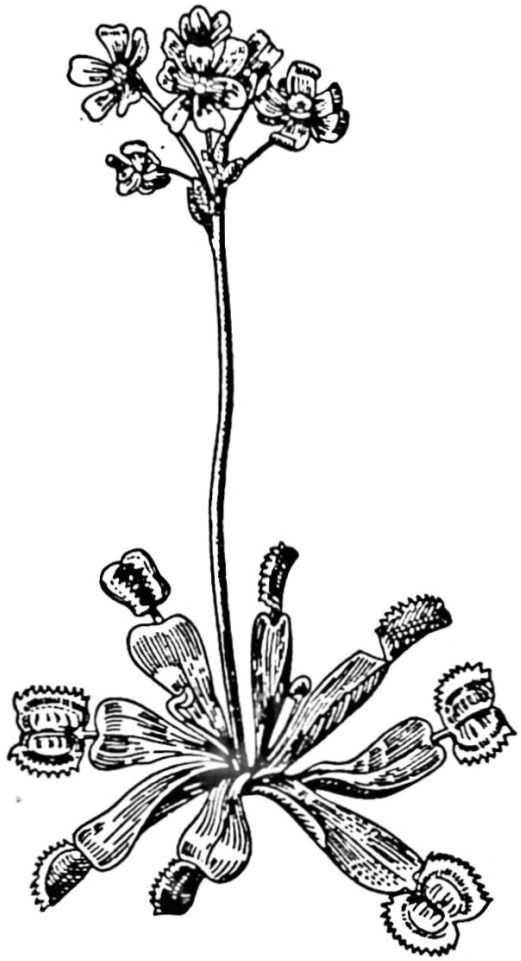


FIG. 27. *Dionaea muscipula* o atrapamoscas.

En las plantas y en los animales protozoarios, la reacción al estímulo se refleja en el cambio de dirección y la intensidad del metabolismo; esta reacción va unida a formas primitivas de movimiento.

En algunos animales protozoarios (las amebas) la reacción corre a cargo de los seudópodos, prolongaciones de protoplasma, que permiten capturar el alimento y cambiar la posición del cuerpo. Los flagelados, y especialmente los infusorios, disponen de mucha más reactividad y movilidad; esto se debe, según se cree, a la aparición en el protoplasma de estructuras fibrilares, que proporcionan la irritación. En algunos protozoos la diferenciación del protoplasma hace incluso que se formen organoides sensitivos especiales, como es la mancha ocular (estigma) de la euglena. Las plantas reaccionan a los estímulos por medio de movimientos ligados al desarrollo y la turgescencia de las células. Por ejemplo, se considera que el fototropismo es consecuencia de un crecimiento desigual: la reproducción de las células es más intensa en la parte no iluminada que en la iluminada, a consecuencia de lo cual la planta se curva hacia la luz.

Los movimientos relacionados con el cambio de turgescencia tienen en las nastias gran importancia. Por ejemplo, se ha establecido que la mimosa púdica, en los puntos de unión de las hojas con el pedúnculo y de éste con la rama, poseen articulaciones ricas en agua, que pierden al sacudirlas. Eso hace que las hojas de la mimosa se inclinen. El mecanismo de transmisión del estímulo en las nastias no se ha estudiado totalmente; sin embargo, hay razones para suponer que en el lugar de la irritación aparecen, a consecuencia de cambios en el metabolismo, determinadas sustancias, que se transmiten con el flujo del líquido nutricio a los haces fibrovasculares.

IRRITABILIDAD EN LOS ANIMALES PLURICELULARES

En los animales pluricelulares, las formas más primitivas de irritabilidad se presentan en las esponjas; esto se debe a la falta de un sistema nervioso diferenciado. Todas las reacciones motoras coordinadas tienen lugar en ellas mediante la transmisión de las irritaciones a través de los enlaces protoplasmáticos que unen las células de su cuerpo. Es evidente que para que esta función se realice hacen falta células ectodérmicas especializadas, que son las que se hallan en contacto directo con el medio ambiente. Según parece, en un principio, cualquier célula ectodérmica podía realizar esta función. Después se produjo una especialización y ciertas células del ectodermo se hicieron muy irritables, "sensibles". El estímulo recibido por la célula ectodérmica puede pasar a las vecinas por medio de los *enlaces protoplasmáticos,* dando lugar a la reacción correspondiente, que se traduce en la contracción del protoplasma.

En los animales pluricelulares, que se caracterizan por la presencia de un sistema nervioso, se pueden seguir los diferentes grados en el desarrollo de la irritación. En su forma más sencilla, el sistema nervioso es una red constituida por muchas células enlazadas entre sí por apéndices. Las células nerviosas recogen los estímulos del medio exterior y los transmiten a distancia. Las hidras (celentéreos) tienen células *epitelio-musculares* específicas y también células *sensoriales,* de elevada excitabilidad, que perciben los estímulos externos. La hidra dispone ya de un sistema nervioso formado por células nerviosas distribuidas más o menos uniformemente por todo el cuerpo y unidas por sus prolongaciones, constituyendo una red. Semejante sistema nervioso se llama *difuso.* Las ramificaciones de las células nerviosas van unidas a las células sensoriales y epitelio-musculares: es decir, que las hidras poseen un enlace con el medio exterior y aseguran la actividad de su organismo como un todo único.

La localización de las células sensoriales en determinados lugares del cuerpo trae consigo el desarrollo de los órganos de los sentidos. Este proceso va acompañado de la concentración de elementos nerviosos alrededor de dichas células sensoriales.

Esta concentración de los neuroelementos da lugar a la formación del sistema nervioso central. En las medusas, tal concentración se realiza en el borde de la umbrela y origina la formación de un anillo nervioso integrado por ocho agrupaciones de células nerviosas y una gran masa de fibras nerviosas.

Ese anillo puede ser ya considerado como un sistema nervioso central; los hacecillos de fibras que parten de él hacia los órganos de los sentidos constituyen los nervios periféricos. Los órganos de los sentidos y el sistema nervioso de las medusas funcionan como un todo único, regulando el comportamiento del animal, el cual es muy sensible a los cambios que se operan en el medio ambiente líquido.

En los animales de simetría bilateral se observa una diferenciación entre el extremo anterior del cuerpo y el posterior. En el primero, se desarrollan los órganos principales de los sentidos, por lo que es allí donde el sistema nervioso alcanza su máximo desarrollo. A consecuencia de la segmentación del cuerpo, en los artrópodos se observan dos concentraciones de las células nerviosas en cada segmento. La concentración de las células nerviosas en los gusanos superiores y los artrópodos da lugar a la formación en la parte

ventral del cuerpo de *núcleos nerviosos o ganglios* unidos entre sí por fibras nerviosas.

Es así como se origina el *cordón nervioso* ventral, en que cada ganglio surte de nervios a determinado segmento del cuerpo. En el proceso evolutivo, los ganglios anteriores o supraesofágicos del sistema nervioso central son fundamentales para la coordinación de los movimientos y para las relaciones del organismo con el medio ambiente.

En los anélidos se observa la diferenciación de las células nerviosas en sensitivas y motoras.

El perfeccionamiento de la reacción, al ganar en complicación la organización de los animales, va unido al desarrollo de *órganos sensoriales complejos,* que hacen más fácil la tarea de encontrar el alimento, descubrir al enemigo a gran distancia, etcétera. Los órganos sensoriales primitivos, relacionados principalmente con las reacciones de contacto en el agua, vienen a ser sustituidos por órganos más complicados, visuales, auditivos, etc., que desempeñan un papel fundamental, sobre todo en la vida terrestre, lo que es ya característico de los artrópodos y, sobre todo dentro de ellos, de los insectos. En esta forma se produce la fusión de ganglios aislados del cordón nervioso en núcleos mayores, compuestos por agrupaciones celulares de constitución compleja. Estas células perciben las irritaciones que llegan de los órganos de los sentidos y las transmiten a los músculos.

Una etapa superior en el desarrollo del sistema nervioso es el sistema nervioso tubular de los cordados, situado dorsalmente en el cuerpo. El extremo anterior ensanchado del tubo origina el encéfalo; la parte restante, la médula espinal. Los vertebrados son los animales en que el sistema nervioso alcanza su nivel más alto, y esto es así por el gran desarrollo del encéfalo, situado en un cráneo óseo o cartilaginoso. La expresión suprema la tenemos en el hombre.

Lo fundamental en el comportamiento de los animales son los *reflejos.* El primero en hablar de ellos fue Descartes. La palabra misma determina el carácter de los procesos que tienen lugar en el sistema nervioso en el momento en que se realiza cualquier acto. El estímulo externo (luz, sonido, etcétera.) llega a la superficie perceptora del animal, por ejemplo, la retina del ojo o el tímpano del oído, donde la energía del estímulo percibido se transforma en una excitación, que, a través de conductores nerviosos, los nervios aferentes, alcanza el cerebro. Allí, la excitación producida se refleja y se refracta como si fuera un rayo de luz, siendo enviada a otros conductores, los nervios eferentes, por los cuales se transmite a los músculos, las glándulas u otros órganos.

Las extremidades de los nervios sensoriales, que son las que perciben los estímulos, se llaman *receptores;* las que llevan a cabo la reacción con que el organismo responde son los *efectores.* El camino que la excitación sigue en todo acto reflejo se denomina *arco reflejo.*

Hay receptores en todas las partes del cuerpo, tanto en su superficie como en los órganos internos; así el animal reacciona a los estímulos exteriores y a los cambios que se producen dentro del organismo.

Como dijo I. M. Séchenov, el reflejo es precisamente la reacción que ayuda al organismo a adaptarse al mundo exterior, a las nuevas condiciones de vida; una reación que protege al organismo de su aniquilamiento. Séchenov basó su estudio de la actividad psíquica en las leyes fisiológicas

de formación e inhibición de los reflejos (véase cap. XIV). La teoría de la actividad nerviosa superior, tal como fue enunciada por I. P. Pávlov (ver el mismo capítulo), es la base de toda la Fisiología y Medicina actuales.

CONCLUSIONES

1. La irritabilidad es una propiedad de los seres vivos que se origina en el metabolismo. La irritabilidad se basa en un cambio de metabolismo acompañado de gasto de energía. Asegura la selectividad de la reacción respecto a las condiciones en constante variación del medio exterior.

2. La irritabilidad guarda íntimas relaciones con el movimiento. En su forma más sencilla se revela por movimientos dirigidos, taxias y tropismos.

Un grado superior de desarrollo de la irritabilidad son las nastias, propiedad que poseen algunos vegetales.

3. Las plantas reaccionan a los estímulos mediante movimientos relacionados con su desarrollo y con la turgescencia. En los protozoarios, la evolución de la irritabilidad va unida a una diferenciación del protoplasma; en los animales pluricelulares, a la aparición de un sistema nervioso, que se va haciendo más complejo a lo largo del proceso evolutivo.

CAPITULO IV

REPRODUCCION

La reproducción, una de las propiedades fundamentales de los seres vivos, es consecuencia del metabolismo.

La reproducción es un proceso biológico que asegura la continuidad y la sucesión de la vida. La sucesión de las generaciones, sobre todo en la reproducción sexual, facilita los cambios del organismo de acuerdo con el medio en que vive y hace posible el comienzo de la vida en relación con las variaciones que se suceden en el medio.

Los procedimientos de reproducción, que son muy diferentes, se formaron a lo largo del proceso de desarrollo histórico de las especies, de acuerdo con sus condiciones de vida, a lo largo del proceso de lucha por la existencia y de la selección natural.

Existen dos tipos fundamentales de reproducción: *sexual* y *asexual*. En el primer caso, la reproducción es resultado de la fusión de células sexuales específicas, los gametos (del griego *gametes*, esposo). En el segundo caso, la reproducción la efectúan, por regla general, células aisladas o grupos de ellas.

REPRODUCCION ASEXUAL DE LAS PLANTAS

Las formas de reproducción asexual son muy variadas. Los organismos vegetales inferiores pueden reproducirse *mediante la escisión o división en dos*. Tal es el caso de las bacterias y algas unicelulares.

La reproducción asexual puede operarse por *esporogonia*, cuando se originan células sueltas (esporas) que son diseminadas por el viento, el agua o por movimientos propios; después, cada espora se desarrolla y origina un nuevo individuo (por ejemplo, en los hongos).

La reproducción puede ser *vegetativa*. Parte del cuerpo del organismo madre se desprende y se transforma en un nuevo organismo. Eso sucede con los brotes en las plantas pluricelulares, que después de morir las partes del organismo madre se transforman en individuos independientes.

Muchas plantas se reproducen por *gemación*. En el cuerpo del organismo madre se forma una protuberancia, que al estrangularse da lugar a un nuevo individuo (v. g., en los hongos levaduras). En la lenteja acuática, que frecuentemente cubre, constituyendo un tapiz, la superficie de los estanques, aparecen en el borde de las hojas bulbillos lenticulares, los cuales al separarse originan los nuevos individuos.

En las hojas de algunos musgos y licopodios crecen yemas adventicias, que se desprenden de la planta madre, transformándose después en otra planta.

La reproducción o multiplicación vegetativa se verifica también por medio de los rizomas, estolones, bulbos, yemas adventicias y tubérculos radicales. La mayoría de las hierbas perennes, entre ellas las hierbas malas (grama, sonchus, etc.) se reproducen por medio de rizomas. Los viejos rizomas se pudren y las nuevas plantas se independizan (fig. 28). Por medio de estolones fibrosos o capilares se reproducen, por ejemplo, la fresa y el *Rubus saxatilis* (fig. 29). Los bulbos son el modo que tienen de reproducirse las plantas monocotiledóneas (cebollas, ajos, jacintos, etc.). Muchas plantas de raíces con vástagos realizan la reproducción vegetativa formando brotes con hojas a partir de yemas adventicias. Este tipo de reproducción se observa en la frambuesa, los cerezos, ciruelos, álamos, etc. Por tubérculos se reproduce una planta de tanta importancia como la patata (papa).

FIG. 28. Multiplicación del muguete por rizomas.

La reproducción vegetativa de las plantas tiene un gran valor en la agricultura. Se utiliza ampliamente la multiplicación mediante *estacas* (rosales, vides, grosellas, etc.). Para ello es necesario cortar una parte del tallo (esqueje) y plantarlo por uno de los extremos. Se desarrollan raíces adventicias, desarrollándose después nuevos brotes de las yemitas interiores (figura 30).

Por multiplicación vegetativa se reproducen muchos árboles frutales. En la agricultura se recurre al *injerto*, que consiste en aplicar a una planta llamada patrón, generalmente silvestre, una pequeña parte de otro vegetal (planta cultivada). Si lo que se injerta es una ramilla, el injerto será *de corona, de coronilla* o *de púa;* si es que una yema, será *de escudete* (fig. 31).

REPRODUCCION ASEXUAL DE LOS ANIMALES

La reproducción asexual está bastante extendida entre los animales. Así es como se reproducen casi todos los protozoarios, muchos celentéreos, algunos gusanos y, entre los cordados inferiores, las salpas.

Los protozoarios (rizópodos, sarcodarios, flagelados o mastigóforos, infusorios) se reproducen por división. En los infusorios, por ejemplo, al producirse la división transversal, los dos ejemplares resultantes son al principio incompletos, uno de ellos carece de los orgánulos de un extremo del cuerpo, el segundo de los del otro. Después, estas partes que les faltan se forman de nuevo.

En algunos casos, la reproducción de los unicelulares va precedida de *una división múltiple del núcleo,* después de lo cual tiene lugar la división del organismo en varios nuevos, generalmente muchos. Este proceso se conoce con el nombre de *esquizogonia* o *esporulación.*

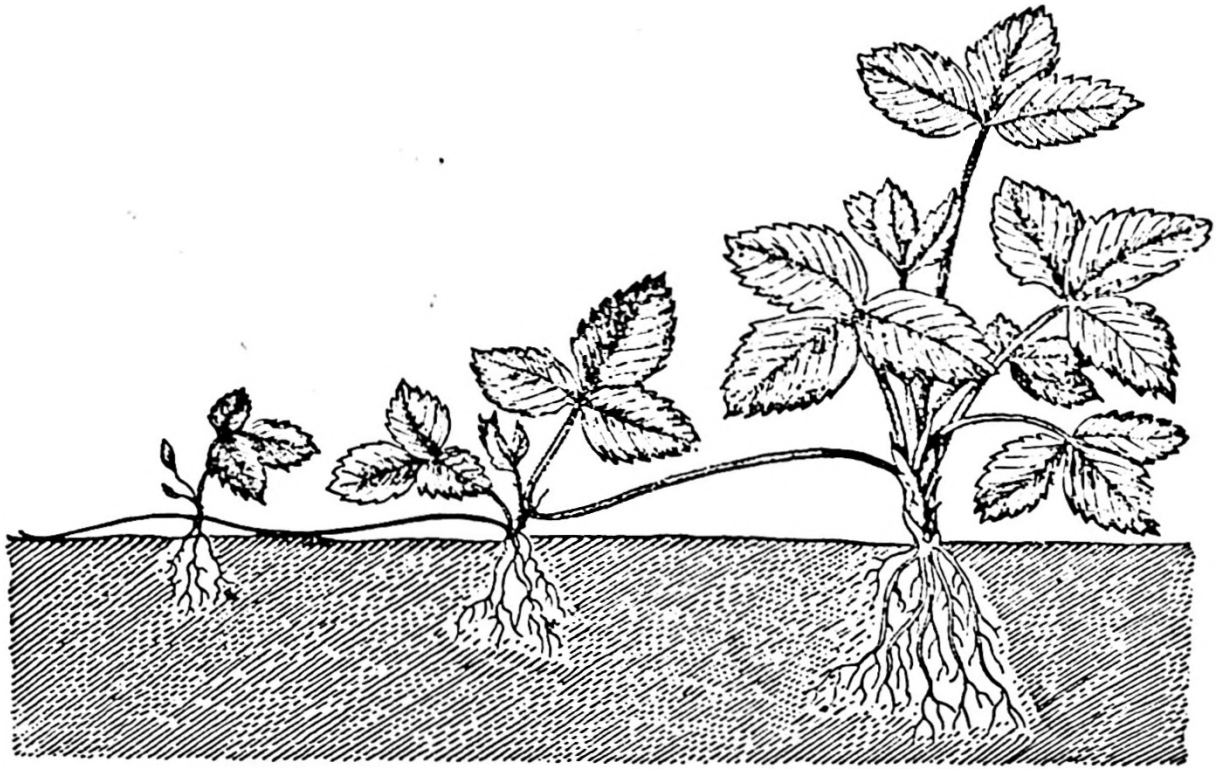


FIG. 29. Multiplicación vegetativa de la fresa mediante estolones fibrosos (acodo natural).

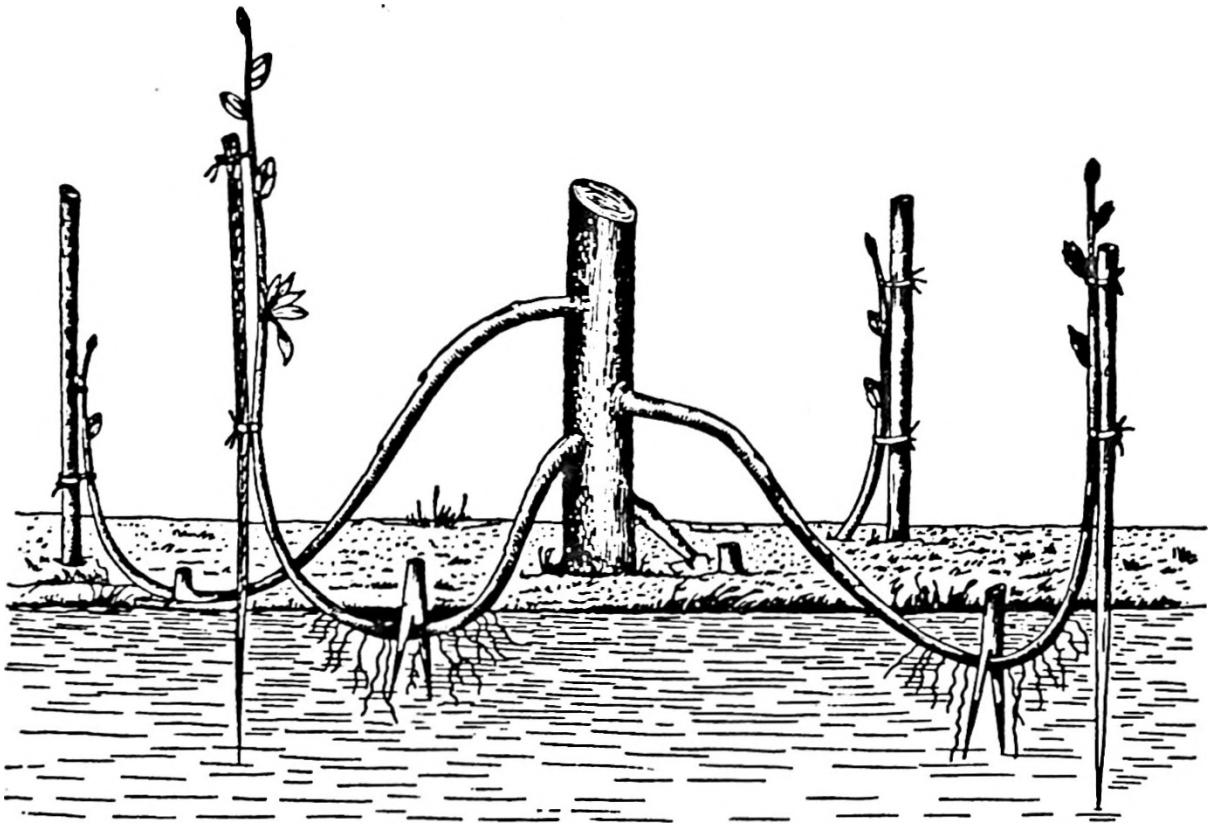


FIG. 30. Multiplicación por acodos en arco.

Un claro ejemplo de tal reproducción es el ciclo de multiplicación asexual del *Plasmodium vivax*, agente del paludismo (véase cap. IX).

La gemación se observa en los celentéreos; en la madre surge una yema, que al desarrollarse origina un pólipo. Este puede estrangularse y hacerse independiente, o quedar unido a la madre, constituyendo una *colonia*. A veces surgen de la yema organismos diferentes del materno, en cuyo caso las colonias son polimorfas. Ejemplo de ello son los sifonóforos (fig. 32). Unos miembros de la colonia se transforman en campanas, que hacen el oficio de flotadores (neumatóforos) y facilitan el desplazamiento de la colonia en el agua. Otros miembros, los gastrozoides, están dotados de unas protuberancias, especie de arponcillos, que capturan y digieren la comida. Otros, por último, los macozoides, se han transformado en palpos que, al parecer, desempeñan funciones secretoras y defensoras. Una parte de los ejemplares se encarga de la reproducción sexual: son ellos los que contienen las gónadas y se denominan medusoides (gonozoides).

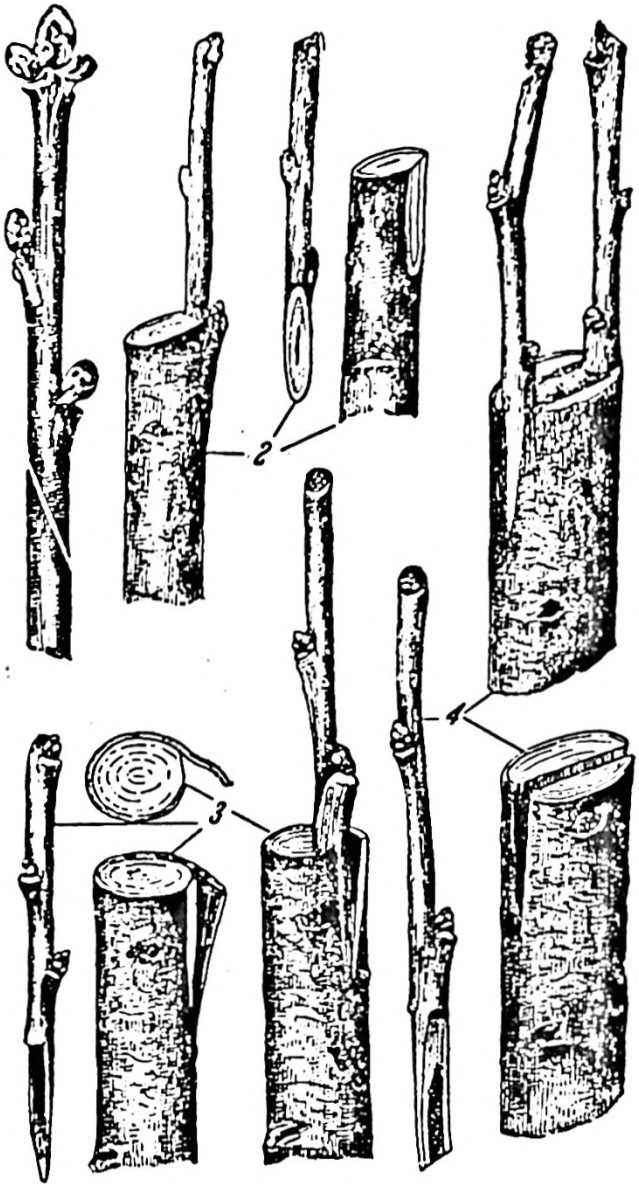


FIG. 31. Diferentes clases de injertos: 1, inglés; 2, de contacto o aproximación; 3, de escudete; 4, de púa.

Algunos gusanos ciliados (los turbelarios) se reproducen por escisiparidad, mediante *división transversal secundaria* (fig. 33). La estrangulación completa y la separación de los organismos puede producirse lentamente, a consecuencia de lo cual se forman *cadenas* constituidas por 4, 8 y hasta 16 ejemplares. Son, como si dijéramos, colonias temporales, que luego se separan. Muchos gusanos segmentados pueden reproducirse por división transversal.

IMPORTANCIA DE LA REPRODUCCION SEXUAL

El proceso sexual es mucho más complicado que la reproducción asexual; constituye también el modo fundamental que tienen de reproducirse los organismos vegetales y animales. El sentido biológico de la reproducción anfigónica puede comprenderse partiendo de la *teoría de la vitalidad*, expuesta por T. D. Lisenko.

Lisenko denomina con el término "vitalidad" la *intensidad del proceso vital* que se manifiesta en la intensidad del metabolismo (procesos de asimilación-desasimilación). La fuente de la vitalidad está en el *carácter contradictorio* del cuerpo vivo. Este carácter contradictorio lo asegura la fecundación, pues aparece en el embrión como consecuencia de las diferencias

FIG. 32. Estructura esquemática de los sifonóforos: 1, neumatóforo; 2, campanas natatorias; 3, nectocálices; 4, gastrozoide; 5, filamento pescator; 6, bráctea; 7, cistozoide.

FIG. 33. Escisiparidad de un turbelario.

(en los límites de la especie) entre las células sexuales femeninas y masculinas que concurren a este acto. Todo ello va unido a las diferentes condiciones de vida de los antecesores y, sobre todo, de los progenitores del nuevo organismo. Los descendientes obtenidos del cruce se enriquecen con posibilidades de adaptación en su desarrollo. Por ejemplo, las plantas resultantes de cruzar el trigo otoñal y el trechal pueden al sembrarlas en primavera desarrollarse como trigo marzal, y al hacerlo en otoño, como otoñal; es decir, estarán adaptadas a las condiciones de vida del padre y de la madre.

Cuando tiene lugar en las plantas una autofecundación y en los animales una reproducción de parentesco próximo, la vitalidad se debilita;

esto se refleja en una gran disminución de la fecundidad, en el empobrecimiento de las posibilidades de adaptación y la disminución de la resistencia general de los descendientes a influencias exteriores desfavorables. Además, y sobre todo en los animales, aparecen formas degeneradas. También se observan fenómenos de degeneración en los matrimonios entre parientes que se realizan entre ciertas familias reales y de la aristocracia.

El carácter contradictorio del cuerpo vivo, su vitalidad, puede ser originado también sin recurrir al procedimiento sexual, cuando cambian las condiciones del medio. Existen no pocas formas, como las bacterias, las cianofíceas, las amebas y algunos invertebrados pluricelulares, que desconocen totalmente el proceso sexual. Numerosas plantas se reproducen también durante mucho tiempo por vía vegetativa.

El desarrollo en nuevas condiciones origina la variación de las cualidades, es decir, fomenta también el carácter contradictorio del ser vivo, que mantiene su vitalidad. El desarrollo en nuevas condiciones modifica el metabolismo, es decir, las propiedades hereditarias del organismo.

Desde el punto de vista filogenético, la adaptación a nuevas condiciones de existencia parece representar una forma más antigua de vitalidad que la reproducción sexual; ésta última se desarrolló a lo largo del proceso de evolución del mundo orgánico, como una forma más perfecta de asegurar la vitalidad de los organismos.

FASES DE DESARROLLO DEL PROCESO SEXUAL EN LOS PROTOZOARIOS

En los protozoarios se pueden observar, a modo de fases del desarrollo en el proceso de la sexualidad, el paso de la reproducción asexual a la sexual. Algunos rizópodos o sarcodarios (heliozoarios) presentan ya un esbozo de proceso sexual: después de un período más o menos prolongado de reproducción por división, uno de los ejemplares se rodea de una capa gelatinosa y se fragmenta en dos. Estos dos nuevos seres, luego de una reestructuración interna, se fusionan, dando lugar al *zigoto* (del griego *zigote,* unión pareada), que después de cierto período de aparente reposo, se convierte en un heliozoario adulto, o más raramente de gemación. Este tipo de reproducción en que un ejemplar se divide primero en dos y ambas células vuelven luego a fundirse se llama *paidogamia.*

Tiene lugar una especie de autofecundación (*autogamia*), ya que los dos ejemplares fusionados proceden del mismo individuo. Sin embargo, en los protozoarios, es mucho más frecuente el proceso sexual con la participación de individuos diferentes. Por ejemplo, en los flagelados la reproducción por división la interrumpe una copulación (unión de los individuos por parejas) periódica, lo que aumenta su vitalidad y les permite reproducirse monogámicamente durante un espacio de tiempo más o menos largo.

El proceso sexual en los infusorios (conjugación) se diferencia de la copulación en que la fusión de los individuos trae como consecuencia un intercambio de partículas de su cuerpo; se trata de un grado más elevado del proceso sexual (fig. 34).

En la conjugación los infusorios se aparean, uniéndose por la región de los orificios bucales. La reestructuración de su aparato nuclear es como sigue: el macronúcleo se disuelve y desaparece y el micronúcleo se parte en cuatro, mediante dos divisiones consecutivas. Tres de ellas se disuelven y la cuarta vuelve a dividirse en dos. Una de las partes

se queda en el sitio (núcleo permanente), la otra (núcleo emigrante) pasa a través del puente que hay entre los dos infusorios al cuerpo de su pareja, del que, a su vez, una parte del micronúcleo se traslada al cuerpo del primer infusorio. Los núcleos emigrantes se fusionan con los permanentes. Después de ello, los infusorios se separan. A expensas del núcleo formado se rehacen en cada una de las parejas el micronúcleo y el macronúcleo. Los infusorios comienzan a dividirse transversalmente, es decir, a reproducirse asexualmente.

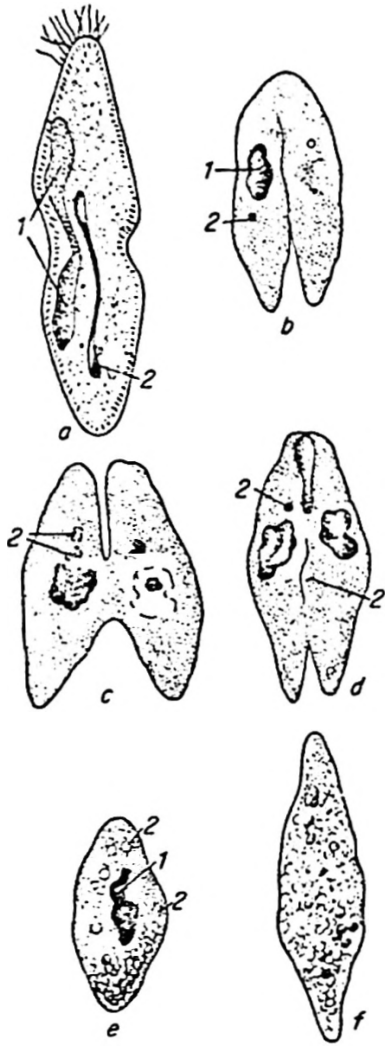


FIG. 34. Reproducción del *Paramaecium caudatum: a*, división; *b, c, d*, conjugación; *b*, aparato nuclear sin variación; *c*, el micronúcleo se ha repartido; *d*, intercambio de micronúcleos; *e, f*, división de los micronúcleos y disgregación del macronúcleo: 1, macronúcleo; 2, micronúcleo.

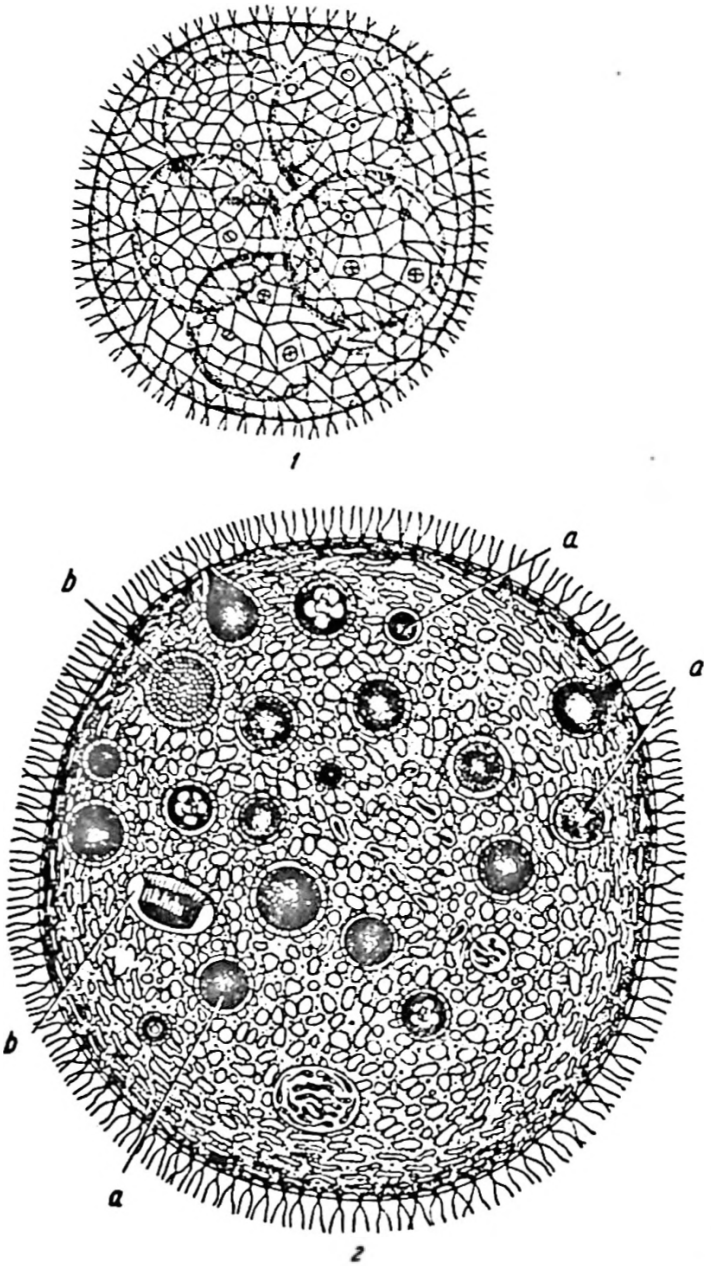


FIG. 35. *Volvox globator*, parte de la colonia con óvulos (*a*) y espermatozoides (*b*).

El proceso sexual continuó desarrollándose históricamente hasta llegar a la diferenciación de células sexuales específicas, los gametos.

La forma inicial de reproducción sexual es la reproducción *isógama* (*isos*, igual), es decir, cuando los gametos son de igual forma y dimensiones. En los foraminíferos politálamos (por ejemplo, la *Polystomella*) los períodos de reproducción asexual alternan con períodos en que se forman

minúsculos gametos, que nadan libremente en el agua hasta encontrar gametos iguales a ellos, pero procedentes de otro individuo, y entonces unos y otros se fusionan formando los zigotos.

La ulterior diferenciación de los gametos hace que se *establezcan diferencias entre los gametos masculinos y femeninos.* Este tipo de reproducción lleva el nombre de *anisogamia* (*an* significa negación). En los protozoarios se puede observar el paso de la isogamia a la anisogamia. En los heliozoarios, aun cuando los gametos tienen igual forma y dimensiones, apuntan ya diferencias, como es el hecho de que uno de ellos, más activo, envíe al encuentro del otro una pequeña protuberancia copulatriz. En algunas pandoriales (*Pandorina*) los gametos son igualmente móviles, pero el femenino es algo mayor. Los gametos del *Volvox* se diferencian ya mucho en tamaño; el masculino es sólo 1/256 del femenino (fig. 35). Además, sólo aquél es móvil. Es decir, que el *Volvox* se reproduce por medio de gametos que se diferencian notablemente entre sí. Este proceso, que constituye el grado extremo de la anisogamia, se conoce con el nombre de oogamia.

Otro ejemplo de oogamia en los protozoarios lo ofrece la reproducción sexual del plasmodio de la malaria en el cuerpo del huésped principal, el mosquito anofeles, que va acompañada de la formación de pequeños gametos masculinos, móviles, y de gametos femeninos, de gran tamaño e inmóviles.

REPRODUCCION SEXUAL DE LOS ANIMALES PLURICELULARES

La reproducción isógama es propia tan sólo de las plantas más primitivas, los hongos inferiores y las algas. La inmensa mayoría de los vegetales se reproduce por anisogamia.

En todos los animales pluricelulares, el proceso sexual va acompañado de anisogamia, en la que los gametos se forman en *gónadas* (glándulas genitales masculinas y femeninas) específicas. Las gónadas masculinas se llaman testículos; las femeninas, ovarios.

El hermafroditismo (presencia en un mismo individuo de órganos reproductores de ambos sexos) corresponde a una forma más primitiva de estructuración del aparato sexual. Filogenéticamente parece ser anterior a la separación de los sexos. El hermafroditismo se presenta en diferentes grupos de animales: en las esponjas, los celentéreos, ciertos gusanos, la mayoría de los moluscos, los equinodermos y también algunos cordados inferiores. Por lo general, los hermafroditas presentan gónadas masculinas y femeninas, pero los hay también que sólo poseen una glándula genital, la cual produce las células sexuales masculinas y femeninas.

Los gametos masculinos son los *espermatozoides, zoospermos, espermatozoos* o *microgametos.* La forma de las células sexuales masculinas varía mucho según la especie del animal (fig. 36); incluso dentro de la misma especie pueden ser de diferente configuración. Comúnmente los espermatozoides están compuestos de tres porciones. denominadas respectivamente *cabeza, segmento intermedio* y *cola.* La parte mayor de la cabeza corresponde al núcleo, que se encuentra rodeado de una fina capa de citoplasma; en el extremo anterior de la cabeza esta capa se hace un poco más gruesa. Es ahí donde se encuentra el aparato reticular de Golgi. En la parte intermedia se hallan el centrosoma y los condriosomas, que en algunos casos se asemejan a un largo hilo arrollado en espiral. La cola la forma el flagelo

Universidad de Oviedo Biblioteca

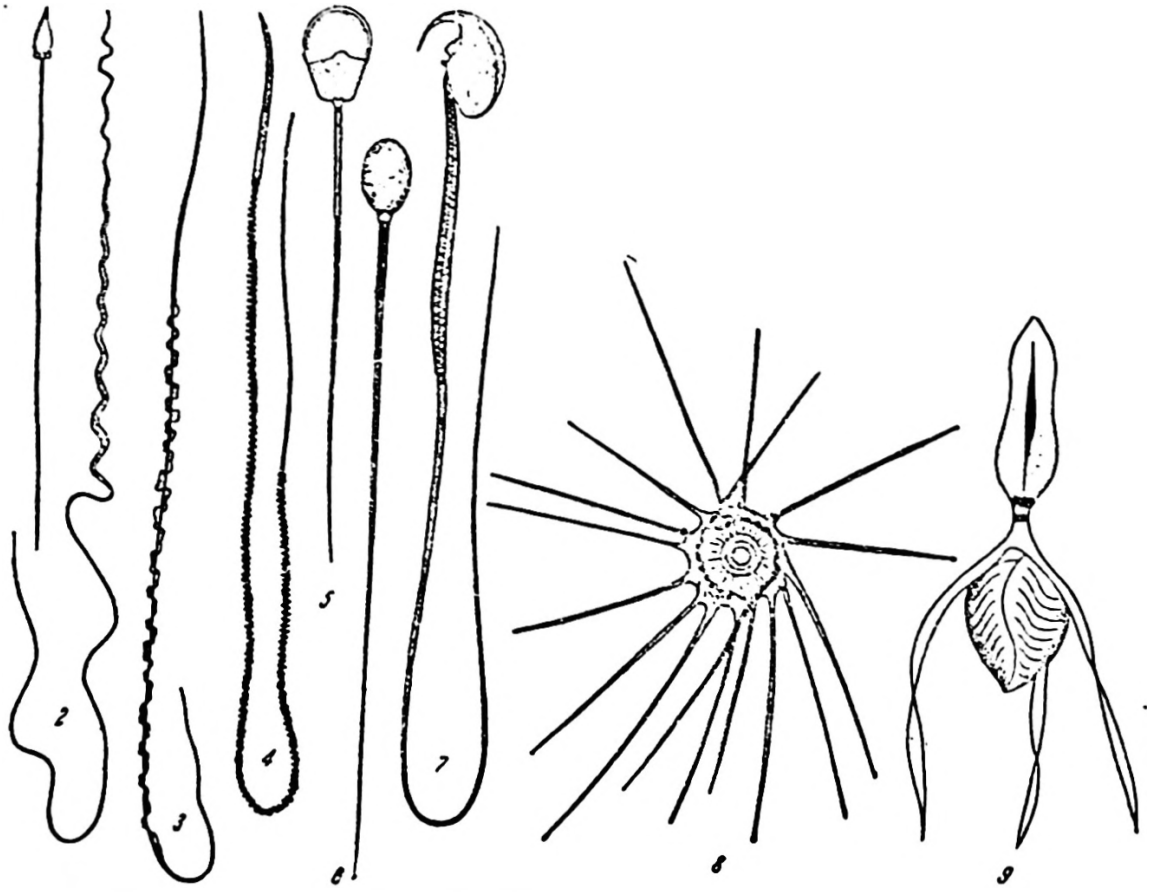


FIG. 36. Estructura de los espermatozoides de diferentes animales: 1, de erizo de mar; 2, de anfibio *Pelobatus;* 3, de salamandra; 4, de ave; 5, de conejo; 6, humano; 7, de ratón de campo; 8, del crustáceo *Inachus;* 9, del crustáceo *Galathea.*

axil, al que rodea una delgada capa de citoplasma. Es frecuente que alrededor de la cola haya una membrana que efectúa movimientos ondulatorios. La cola desempeña en el zoospermo el papel de órgano locomotor.

Además de los espermatozoides típicos existen formas atípicas. Por ejemplo, los microgametos de los decápodos constan de una parte intermedia, que contiene el núcleo; de ella parten las protuberancias. En el gusano áscaris el gameto masculino presenta forma cónica y se traslada mediante seudópodos. En algunos casos los espermatozoides no se encuentran aislados, sino reunidos en paquetes —los espermatóforos—; sus dimensiones oscilan mucho en los diferentes animales y dependen del tamaño del cuerpo. En el hombre por ejemplo, la longitud media de los espermatozoides es de 50 μ; en el caballo, de 55 a 60 μ, y en el tritón, de 500 μ.

Las células sexuales femeninas son los *gametos femeninos, óvulos, oosferas* o *macrogametos.* Presentan, por lo general, forma redondeada y son células relativamente grandes. Sus dimensiones dependen de la reserva de sustancias nutritivas que posean. En la mayoría de los animales su diámetro es del orden de 10 μ; en los mamíferos, los óvulos llegan a medir 200 μ; en los anfibios ápodos, 200 μ y en la mujer, 130 μ. Alcanzan gigantescas dimensiones en los huevos de las aves (en la gallina, 4 cm., en el avestruz, 10,5 cm.).

Alrededor del óvulo se forman *envolturas protectoras* especiales. Parte de ellas las forma el mismo óvulo; otras las originan células nutritivas. Finalmente, pueden producirlas las glándulas del oviducto, al pasar por ellas el óvulo. La clara, la membrana cortical y la cáscara en los huevos de las aves (fig. 37) se forman de esta manera. Los huevos de los insectos se cubren a menudo de una capa de quitina, de compleja ornamentación. También los huevos de los gusanos parásitos están rodeados de una envoltura, producida por las paredes del oviducto.

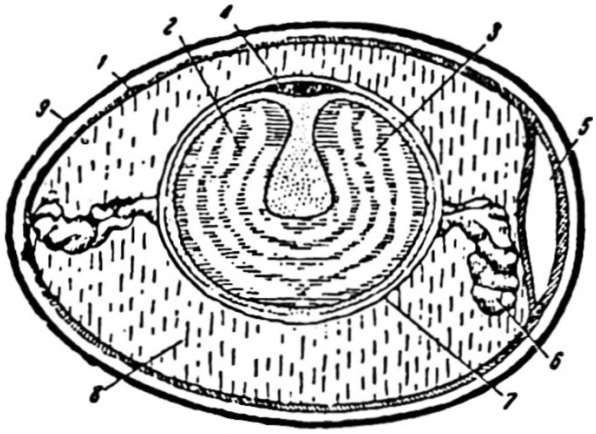


FIG. 37. Sección longitudinal de un huevo de gallina: 1, membrana o telilla; 2, yema; 3, límite de la clara; 4, núcleo del huevo; 5, cámara de aire; 6, chalaza; 7, membrana vitelina; 8, clara; 9, cáscara.

Los huevos de la mayoría de los animales carecen de movimiento; solamente en algunos de ellos, como las hidras, poseen un movimiento amiboide.

FORMACION DE LAS CELULAS SEXUALES

Acerca de la formación de los gametos predominaron durante largo tiempo en la ciencia las concepciones de Weismann y sus partidarios[1], que dividían el organismo único en dos sustancias: plasma germinal y soma (cuerpo); los weismanistas afirman la inmortalidad potencial de los plasmas germinales. De acuerdo con semejantes concepciones existe una cadena continua, que enlaza las células sexuales de los antecesores con sus descendientes; el soma, en cambio, es un producto auxiliar en el ininterrumpido camino de la generación sexual, una especie de cubierta, de envoltura del plasma germinal, que no goza de continuidad. Consideran que el huevo proviene únicamente de otro huevo; el cuerpo no ejerce influencia alguna en las células sexuales.

En realidad, las células sexuales se desarrollan a partir de las no sexuales; mientras crecen son parte del cuerpo del organismo. Por ejemplo, en los órganos reproductores de cualquier planta hay una fase en que no existen aún células sexuales, de la misma manera que faltan en los animales en determinadas fases de desarrollo. En algunos casos, no muy numerosos, se puede observar una formación relativamente temprana del germen sexual. Pero aun entonces, se trata sólo de un fenómeno exterior; realmente, las células sexuales están integradas por partículas de sustancias pertenecientes a diferentes partes del organismo y a su material plástico, que se han modificado repetidamente mediante el metabolismo. *En las células sexuales se acumulan todas las propiedades del organismo que las ha originado.* Forman parte de este último mientras no llegue el momento de

[1] Ver el capítulo XIII.

separarse de él para dar comienzo a una nueva vida. El estudio del proceso de formación de células sexuales, así como numerosos datos experimentales, confirman totalmente que, como señala T. D. Lisenko, las células sexuales "son el producto del desarrollo de todo el organismo mediante transformaciones, mediante el metabolismo".

ESPERMATOGENESIS

El proceso de formación en los animales de los gametos masculinos se conoce con el nombre de *espermatogénesis*. El de formación de los gametos femeninos se llama *ovogénesis*.

Las células sexuales suelen recorrer cuatro fases en su desarrollo: *multiplicación, crecimiento, maduración y transformación*. En la espermatogénesis es poco acusado el crecimiento; en la ovogénesis, la transformación.

En la fase de multiplicación o proliferación, las células presexuales masculinas o *espermatogonias* se reproducen con gran intensidad, dando lugar a la formación de *espermatocitos de primer orden*. Los espermatocitos sufren un período de crecimiento levemente acusado para entrar luego en la fase de maduración, que está integrada por dos divisiones consecutivas, la primera de ellas se diferencia de la mitosis corriente en que va acompañada de una reducción a la mitad del número de cromosomas; ello conduce a la formación de *espermatocitos de segundo orden*. Se trata de una etapa determinada en el desarrollo de las células sexuales.

El fenómeno de disminución a la mitad de los cromosomas se denomina *meiosis o reducción cromática;* de ahí que la primera división de maduración se denomine división reductora. Según los morganistas, la división reductora va unida a complejas transformaciones de los cromosomas. Sin embargo, las investigaciones de los científicos soviéticos (M. V. Chernoiárov y P. V. Makárov) demuestran que es necesaria mucha cautela al trazar el cuadro morfológico de las complicadas relaciones entre cromosomas enteros y sus partes, ya que pueden ser debidas a la acción de fijadores, es decir, a transformaciones ocurridas después de la muerte del organismo. De acuerdo con las investigaciones de Chernoiárov, puede considerarse que a partir del material nuclear de los espermatocitos de primer orden se forma directamente un número reducido de cromosomas. Durante la segunda división de reducción, los cromosomas se fragmentan como de costumbre, longitudinalmente. De cada espermatocito de primer orden se forman, por dos divisiones de maduración, cuatro células, las *espermátidas,* que se convierten en cuatro espermatozoides.

El proceso de formación de los espermatozoides de un mamífero está representado en la fig. 38.

OVOGENESIS

Las células preovulares en estado de proliferación se llaman *ovogonias*. Es a expensas de ellas como se originan los óvulos en estado maduro. Cuando dejan de multiplicarse las ovogonias se transforman en *ovocitos de primer orden,* que entran en la fase de crecimiento. Durante este tiempo, en el

citoplasma de los óvulos transcurren procesos de acumulación de material plástico, principalmente yema, que después utilizará el nuevo organismo para su crecimiento.

Cuando termina el período de crecimiento, se verifica la *primera división de maduración del ovocito de primer orden.* Lo mismo que en la espermatogénesis, esta división va generalmente acompañada de la reducción del número de cromosomas a la mitad. Como resultado de ello se forman dos células: una grande, u *ovocito de segundo orden,* y otra pequeña, que aparece en forma de un corpúsculo de reducido tamaño en uno de los polos del óvulo, y lleva el nombre de *primer corpúsculo o glóbulo polar o corpúsculo reductor.* Después, el ovocito de segundo orden vuelve a dividirse, produciéndose como resultado de ello un óvulo maduro y el *segundo corpúsculo o glóbulo polar.* Por tanto, cada ovocito de primer orden origina un óvulo maduro y dos corpúsculos polares, el primero de los cuales puede a su vez subdividirse en otros dos.

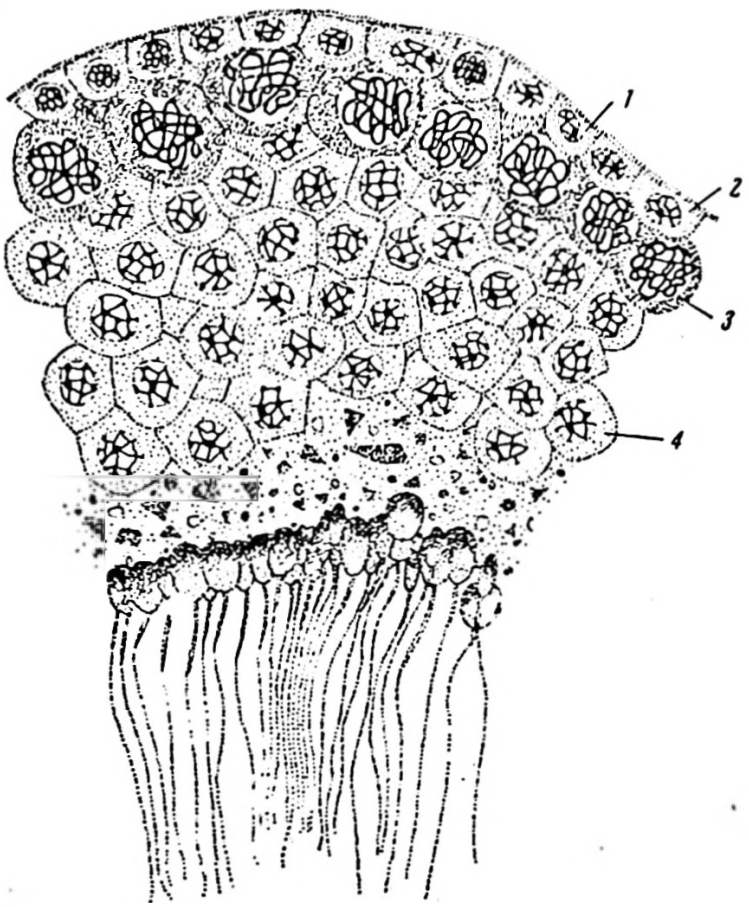


FIG. 38. Espermatogénesis de un conejillo de Indias. Fragmento de la sección transversal de un tubo ondulado del testículo: 1, espermatogonias; 2, espermatocitos de primer orden; 3, espermátidas; 4, espermatozoides formados.

Para la nutrición del óvulo se forman *células nutricias* especiales, llamadas *foliculares,* en el ovario de los mamíferos. A medida que crece el óvulo, el epitelio folicular engruesa, va aumentando el número de sus capas. Aparece en él un espacio que *contiene un líquido* (liquor folliculi). En esta vesícula hace saliente el *cumulus ovigerus* constituido por células foliculares, y en cuyo interior se encuentra el óvulo. En esta fase, el epitelio folicular y el óvulo llevan el nombre de *folículo de Graaf,* que cuando aumenta de dimensiones se aproxima a la superficie del ovario.

El folículo maduro rompe la pared por la parte más débil, dando lugar a *la ovulación,* a la salida del óvulo. La ruptura del folículo se debe no sólo a la presión mecánica del líquido, sino a causas nerviosas. En el desarrollo filogenético de los animales superiores (el hombre inclusive), los impulsos nerviosos relacionados con la fecundación han dado origen a unas relaciones más complejas en las actividades del sistema nervioso y las glándulas de secreción interna, que determinan la periodicidad de los ciclos sexuales con modificaciones características de la mucosa de los conductos sexuales

y la ovulación *espontánea*. En algunos mamíferos, el conejo, por ejemplo, tiene lugar la ovulación *provocada*: la ruptura de los folículos maduros se sucede únicamente al cabo de un período determinado después del acto sexual (en el conejo a las 10 horas).

En los mamíferos multíparos (conejos, cerdos, etc.), maduran al mismo tiempo varios folículos. Después de la ruptura del folículo y de pasar el óvulo, junto con el líquido folicular, a las trompas de Falopio (oviducto), comienzan a crecer en el lugar donde se rompió el folículo células foliculares, las cuales producen un cuerpo esférico o *cuerpo amarillo*, que desempeña la función de glándula de secreción interna. El cuerpo amarillo contribuye en grado importante a la preparación de la matriz para recibir al huevo fecundado.

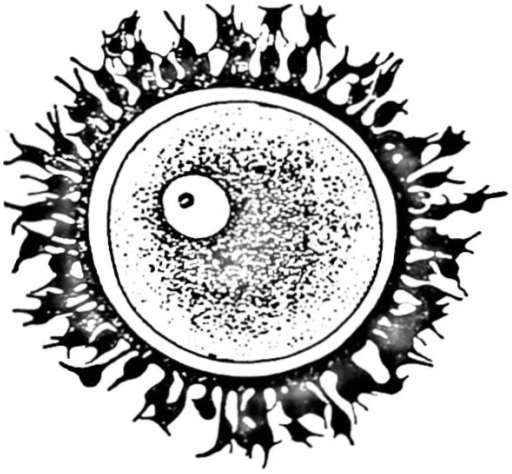


FIG. 39. Huevo humano.

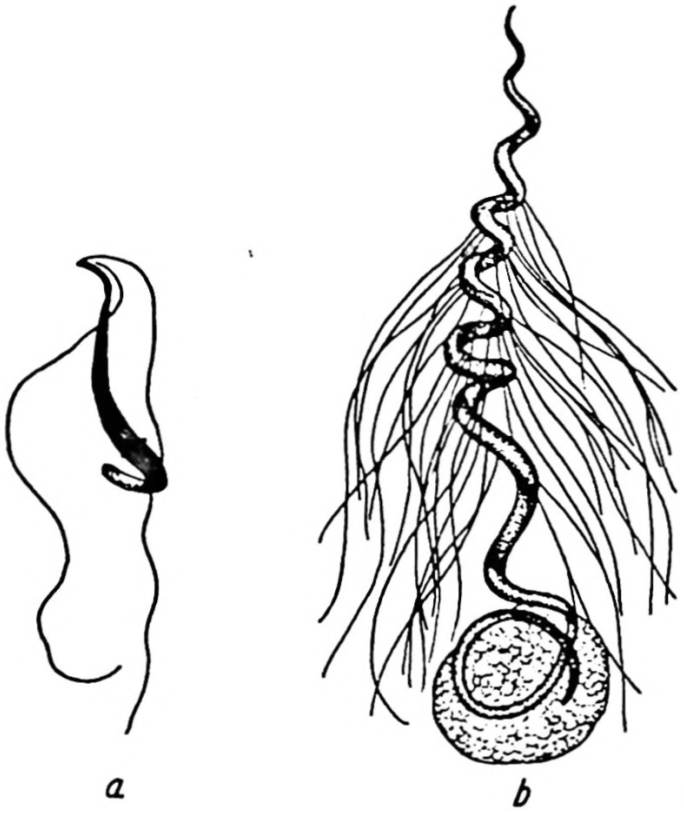


FIG. 40. Células sexuales masculinas móviles de briofitas hepáticas y de helechos: *a*, anterozoide de un *Musci hepatici*; *b*, anterozoide de un helecho.

Después de salir del folículo, el óvulo maduro aparece rodeado por tres envolturas (fig. 39): la membrana vitelina, que es la capa superficial del citoplasma ovular; la zona pelúcida, producto de la actividad del epitelio folicular, y la zona o corona radiada, constituida por células foliculares contiguas al óvulo.

La formación de gametos en las plantas y en los animales ofrece en principio una gran semejanza, que se basa en el origen común de todos los organismos vivos.

DISPOSITIVOS QUE ASEGURAN LA RECEPCION DE LOS GAMETOS

Las plantas poseen para la fecundación dispositivos bastante variados. Las algas y los helechos disponen de células móviles —los anterozoides— parecidas a los espermatozoides de los animales (fig. 40). En las espermófitas las células sexuales masculinas llegan al óvulo mediante el tubo polínico, que se alarga.

Según el modo como se verifique la polinización, las plantas se dividen en *anemófilas* y *entomófilas*: en las primeras, el agente de transporte es el *viento*, sus flores son pequeñas y poco vistosas; en las entomófilas, que constituyen la mayoría, los *insectos* constituyen el medio de transporte, debido a lo cual se han desarrollado en ellas dispositivos especiales que sirven para atraerlos (colorido llamativo, nectarios, etc.). Las plantas dioicas sólo son capaces de polinización cruzada; las monoicas, y, sobre todo si son de flores polígamas, suelen tener dispositivos que imposibilitan la autopolinización. Los casos más frecuentes son aquellos en que los estambres y el pistilo no maduran a la vez.

En los animales se distinguen la *fecundación externa* y la *fecundación interna*. La externa es propia de la mayoría de los que viven en el agua: equinodermos, muchos moluscos, casi todos los celentéreos y los peces. En la fecundación externa, los productos sexuales, óvulos y espermatozoides, van a parar directamente al agua. La mayor parte de los gusanos, todos los artrópodos, los reptiles, aves, mamíferos, así como algunas formas que viven en el agua (v. g., los escualos y los cefalópodos) tienen fecundación interna. En la fecundación interna lo más frecuente es que los espermatozoides penetren en los órganos receptores de la hembra con ayuda de un órgano copulativo especial.

La fecundación externa representa filogenéticamente una forma primitiva, ya que la vida acuática precedió históricamente a la terrestre. Algunos animales marinos se valen para la fecundación de las corrientes de agua, que trasladan las células sexuales. El agua dulce altera profundamente la presión osmótica de los espermatozoides, a consecuencia de lo cual, en los ejemplares que se multiplican en dicho medio se han desarrollado dispositivos especiales para llevar a cabo la reproducción. Las investigaciones realizadas con diferentes especies de peces de agua dulce (V. V. Majovko) han puesto en claro el mecanismo de estos dispositivos, mostrando su relación con las secreciones de las hembras.

El principio en que se basa la acción de estos dispositivos es el siguiente. Alrededor de los óvulos se crea una zona de difusión de las sustancias segregadas por ellos. El macho suelta los espermatozoides muy cerca de las huevas, por lo que los zoospermos caen en la esfera de acción de las secreciones de éstas. Bajo su influencia, la masa fundamental de espermatozoides se aglutina constituyendo una especie de red, que a modo de barrera mantiene en las proximidades de las huevas los espermatozoides libres. La secreción de los óvulos conserva el equilibrio osmótico necesario, y las propiedades activantes de estas secreciones, la actividad necesaria de los zoospermos.

Hasta no hace mucho predominaba la idea de que en todos los organismos el movimiento de los espermatozoides hacia el óvulo era un movimiento

dirigido, que se realizaba gracias a la quimotaxis, tigmotaxis[1] y reotaxis. Sin embargo, estudios especiales con numerosas especies de vertebrados de fecundación externa e interna han logrado establecer que estas reacciones no tienen lugar en los espermatozoides de los animales vertebrados (V. V. Majovko). El movimiento de los zoospermos en los animales superiores de fecundación interna se realiza gracias a las contracciones musculares del conducto sexual de la hembra. Solamente en las proximidades del óvulo adquieren importancia los movimientos activos de los espermatozoides.

La fecundación interna es característica de los animales terrestres y está relacionada con el hecho de haber abandonado el medio acuático; al complicarse la organización de los animales, se transformaron los dispositivos que aseguraban la fecundación.

En los animales que tienen muy desarrollado el sistema nervioso, corre a cargo de éste y del endocrino la preparación y realización de la fecundación.

Las condiciones ambientales del conducto genital de la hembra se modifican de acuerdo con los períodos del ciclo sexual. En el período de actividad sexual precedente a la ovulación, el medio se halla en un estado que facilita el mantenimiento de la actividad vital de los espermatozoides.

En los mamíferos, las secreciones del aparato sexual femenino poseen también la propiedad de activar y aglutinar los espermatozoides. Es frecuente que transcurra bastante tiempo entre la penetración del semen y la ovulación. Las investigaciones de Majovko demuestran que la mayoría de los espermatozoides que llegan al cuello de la matriz permanecen allí hasta que comienza la ovulación; esto viene facilitando por la estructura anatómica de dicho cuello, por los pliegues de su parte interior. En el cuello se observa una aglutinación de los espermatozoides reversible y de carácter temporal, que los hace adherirse a la mucosa. Este fenómeno de disminución temporal de la actividad puede considerarse como un procedimiento que permite conservarlos en actividad hasta la aparición del óvulo. Durante la ovulación el medio se diluye; entonces, los espermatozoides se liberan y en virtud de la actividad muscular del aparato sexual femenino se desplazan a las partes proximales de la matriz y al oviducto.

Después de la ovulación y la fecundación se modifica la secreción de la mucosa; en esta última predominan los procesos destructivos, tiene lugar la aglutinación no reversible de los espermatozoides y su destrucción, lo cual se relaciona con la preparación del aparato sexual para recibir el huevo fecundado.

En los mamíferos, la fecundación se realiza en el primer tercio del oviducto. Cuando sale del ovario, el óvulo todavía no está en condiciones de recibir a los espermatozoides, ya que lo cubre una capa de células foliculares (la capa radial). Después se va desprendiendo paulatinamente de las células foliculares que lo cubren, en lo cual desempeña un importante papel la secreción citolítica producida por los espermatozoides (hialuronidasa). La velocidad con que el óvulo se libera de la envuelta radial depende de la cantidad de espermatozoides que haya en el oviducto. El tiempo durante el cual el óvulo es capaz de ser fecundado no es muy largo, probablemente se reduce a unas cuantas horas. El óvulo, en cuanto se ha desprendido de la envuelta radial, comienza a cubrirse de una sustancia albuminoidea producida por el oviducto, la cual forma alrededor de él una capa.

[1] Tigmotaxis, reacción al contacto con la superficie.

Como la penetración del semen rara vez coincide con la ovulación, se comprende la enorme importancia que para el éxito de la reproducción tienen los dispositivos encargados de mantener la actividad de los espermatozoides hasta tanto no se produce la ovulación.

El tiempo que se conservan los espermatozoides en los conductos sexuales de la hembra ha sido establecido históricamente por el proceso de adaptación, a lo largo del desarrollo de las diferentes especies, y depende de la posible duración del período que transcurre entre la entrada del semen y la ovulación.

Durante mucho tiempo se consideró que, en la mayoría de los mamíferos, los espermatozoides conservaban de 40 a 48 horas como máximo su capacidad de fecundación en los conductos sexuales femeninos.

Sin embargo, se ha logrado un elevado porcentaje de fecundaciones después de haber introducido el esperma con una antelación de 60 ó 70 horas respecto a la ovulación. La fecundación se ha conseguido incluso introduciéndolo seis días antes de la ovulación.

Se conocen ejemplos de haber mantenido incluso durante más tiempo la capacidad de fecundación de los espermatozoides humanos.

Se dan casos de gametos masculinos que viven durante un tiempo muy prolongado en los conductos sexuales de la hembra. Ejemplo de ello son las abejas; la hembra realiza una sola vez en su vida el vuelo nupcial y durante él se fecunda; el semen va a parar a un receptor especial donde se conserva de cuatro a seis años, y poco a poco se va consumiendo a lo largo de la vida del insecto.

En el aparato sexual femenino de las aves se conserva durante más de dos semanas la capacidad de fecundación de los espermatozoides. En algunos mamíferos, los murciélagos, por ejemplo, transcurren varios meses entre la recepción del semen y la ovulación. La capacidad reproductora de los espermatozoides se mantiene durante tanto tiempo gracias a la pérdida temporal de actividad que experimentan (condensación del medio, "aglutinación", baja temperatura del cuerpo durante el sueño invernal).

En la actualidad, los sovjoses y koljoses utilizan ampliamente en la Unión Soviética el método de fecundación artificial en sus animales agrícolas; esto permite obtener de un reproductor de calidad numerosa descendencia.

FECUNDACION

La fecundación es la etapa más importante de la reproducción sexual y, a excepción de algunos casos aislados, de los que trataremos más adelante, constituye la esencia de este proceso.

La teoría michurinista considera la fecundación ante todo como un *proceso fisiológico,* como la *asimilación mutua de los gametos masculinos y femeninos.* Por lo tanto, la fecundación, lo mismo que cualquier otro proceso biológico, es, en lo fundamental, metabolismo (asimilación-desasimilación); pero a diferencia de los otros procesos, en la fecundación hay una mutua asimilación por ambos gametos.

Como resultado de este proceso, en lugar de las dos células sexuales aparece una nueva, *el zigoto* o *huevo.*

La facultad de asimilación recíproca la poseen únicamente los gametos y es el rasgo característico del proceso de fecundación.

Al revés de las células somáticas, que terminan su ciclo vital dividiéndose, las células sexuales, tanto masculinas como femeninas, se unen en la fecundación para continuar así su desarrollo. El resultado de esta asimilación recíproca es el zigoto, que se diferencia esencialmente del óvulo y del espermatozoide.

El papel que desempeñan en la fecundación el núcleo, los cromosomas y otras partes de la célula consiste en crear, a expensas de los diferentes elementos de las células sexuales de los progenitores, *un todo biológicamente único y contradictorio,* que determina la elevada *vitalidad* del nuevo organismo en desarrollo. Esto constituye la esencia de la fecundación.

La biología michurinista dispone de muchísimos datos demostrativos de que la fecundación, lo mismo que todos los procesos vitales, es *selectiva.* Establecer la selectividad del proceso fecundante es de gran importancia, tanto en la teoría como en la práctica. Los elegidos para asegurar la selección son los gametos; éstos originan los organismos que están mejor adaptados a las condiciones concretas de la vida. La selectividad de las plantas madres respecto del polen la utilizan los seleccionadores para la obtención de nuevas variedades. La selectividad de los seres vivos es fruto de la selección natural en el proceso de desarrollo histórico del mundo orgánico.

S. G. Navaskin ha establecido la existencia en las plantas superiores (angiospermas) de una *fecundación doble.* Los gametos masculinos no sólo dan lugar al huevo, sino también a la célula a partir de la cual se desarrolla el endospermo (véase la pág. 339).

En la fecundación de los animales, el espermatozoide penetra por completo en el óvulo, aunque a veces se desprende de la cola. El contacto del espermatozoide con el ovario origina en él profundos cambios. La reacción se desarrolla con gran rapidez y alcanza en primer lugar a la capa cortical del protoplasma o membrana vitelina; entonces se forma una *membrana de fecundación* transparente. La penetración del espermatozoide en el óvulo está relacionada, al parecer, con procesos de fermentación muy complicados que tienen carácter específico. En algunos animales es sólo en presencia del espermatozoide cuando termina el proceso de maduración del óvulo y la expulsión del segundo corpúsculo polar. Debajo de la membrana de fecundación hay generalmente diez o más espermatozoides, pero al interior del óvulo suele llegar uno (aunque no es frecuente, puede penetrar alguno más). Las investigaciones citológicas llevadas a cabo por diferentes autores han descubierto en bastantes casos (en cobayos, conejos y cerdos) la presencia de tres núcleos en los óvulos fecundados.

Después de que el espermatozoide penetra en el óvulo, aumenta considerablemente la absorción de oxígeno. Es probable que sea el mismo espermatozoide quien introduzca en la célula femenina toda una serie de fermentos oxidantes o que activen los del propio óvulo. En la asimilación recíproca de los gametos, el óvulo asimila los elementos protoplasmáticos del espermatozoide, de forma que en un principio no es posible descubrirlos. Al mismo tiempo, el núcleo del espermatozoide, al asimilar el protoplasma del óvulo crece, aumentando varias veces de tamaño hasta alcanzar el del núcleo del óvulo, después de lo cual ambos núcleos se aproximan el uno al otro y se funden. La fusión de los gametos da lugar, como ya hemos dicho, a la aparición de una nueva forma de naturaleza diferente, el zigoto.

En el áscaris del caballo (*Ascaris megalocephala*) se pueden seguir con detalle las modificaciones sucesivas del óvulo y del espermatozoide durante la fecundación. Ya en el momento de su contacto con la superficie ovular el espermatozoide en trance de asimilación experimenta una profunda transformación: cambia de color y aparece ácido ribonucleico. Bajo la acción del espermatozoide se forman en el óvulo nuevas sustancias albuminoideas, grasas, etc. P. V. Makárov observó en el áscaris del caballo el desarrollo normal de la fecundación con la penetración en el óvulo de dos espermatozoides (dispermia).

PARTENOGENESIS

Generalmente, los óvulos no fecundados mueren. Sin embargo, se conocen casos de *desarrollo del óvulo sin fecundación previa* y de formación de nuevos seres a partir de estos óvulos. Este proceso se conoce con el nombre de desarrollo virginal o *partenogénesis*. Biológicamente, este modo de reproducción es de menos valor que el desarrollo por el huevo fecundado, ya que no hay enriquecimiento hereditario a consecuencia de la unión de los caracteres paternos y maternos. La vitalidad de los organismos partenogenéticos es más limitada que la de los originados por gamogénesis (desarrollo que sigue a la fecundación).

La partenogénesis fue descubierta en el siglo XVIII al estudiar la biología de los pulgones; después, este fenómeno fue observado en otros seres. Por ejemplo, es probablemente por partenogénesis como se desarrollan a partir de los esporocistos de la duela del hígado (*Fasciola hepática*), las redias, y, de estas últimas, las cercarias. La reproducción virginal se presenta en los rotíferos, los pulgones, las abejas, las hormigas, las avispas y algunos crustáceos inferiores. Las primeras etapas del desarrollo de huevos no fecundados pueden tener lugar en las aves y quizá en los mamíferos, aunque en estos casos el desarrollo se detiene pronto. Estos datos confirman la tesis de T. D. Lisenko de que el zigoto es una nueva célula, enriquecida, capaz de originar un organismo mejor adaptado al desarrollo que los derivados de una célula sin fecundar.

Partenogénesis artificial.

Se plantea lógicamente la cuestión de si no será posible provocar experimentalmente el desarrollo partenogenético de óvulos en seres en los que este modo de fecundación no suele observarse. El primero en obtener una partenogénesis artificial fue, en 1886, el científico ruso A. A. Tijomírov, quien utilizó óvulos sin fecundar del gusano de seda, tratándolos con ácido sulfúrico o mediante procedimientos mecánicos. Después, nuevos experimentos de una serie de investigadores han venido a demostrar que son *muchos los agentes capaces de provocar el desarrollo de un óvulo no fecundado*. Este efecto puede alcanzarse mediante acciones mecánicas: frotamiento, sacudidas o punción con una aguja fina. Sin embargo, la partenogénesis artificial se logra generalmente tratando los huevos con productos químicos: ácidos, bases, sustancias venenosas (estricnina, morfina, etc.). Producen igual efecto el aumento de temperatura, la corriente eléctrica y la acción de los rayos ultravioleta. Es probable que se produzca en todos estos casos una lesión reversible de la célula, como resultado de la cual empiece ésta a segmentarse. Es necesario señalar que generalmente en la parte-

nogénesis artificial se observan unas u otras anomalías del desarrollo. Solamente como excepción describen algunos autores casos en los que aquél ha alcanzado un grado más o menos completo. Se ha logrado una partenogénesis artificial completa o parcial en insectos, anfibios e incluso mamíferos.

SUCESION DE LAS GENERACIONES

Después de una serie de generaciones partenogenéticas tiene lugar de ordinario una fecundación que restablece la vitalidad de los descendientes. Por tanto, estas formas se caracterizan por un proceso *cíclico*: un cambio periódico del modo de desarrollarse (que depende por lo común de la estación del año) mediante fecundación y partenogénesis. Semejante sucesión de las generaciones se llama *heterogénesis o heterogonia*. Los casos más sencillos de heterogénesis pueden observarse, por ejemplo, en los rotíferos y los cladóceros (pulgas de agua). Durante la primavera y el verano, estos habitantes de agua dulce se reproducen únicamente por partenogénesis y de los óvulos sin fecundar nacen sólo hembras. En otoño, las hembras par-

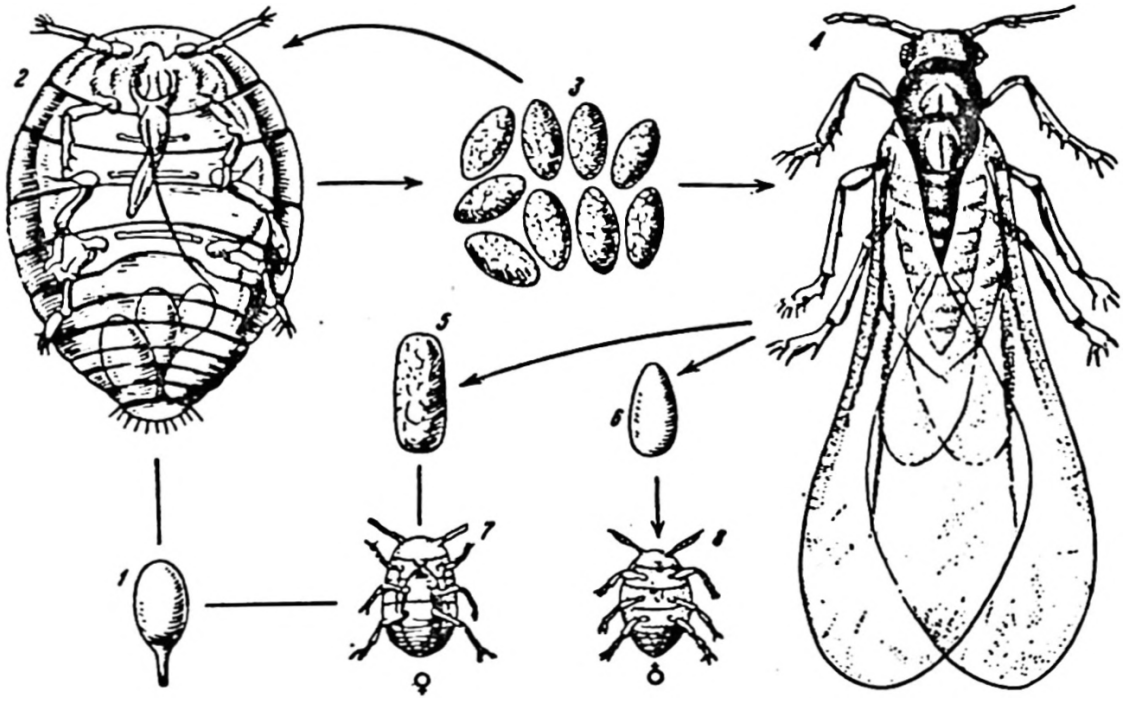


FIG. 41. Ciclo reproductor de la filoxera: 1, huevo fecundado (durable); 2, hembra áptera; 3, huevos (óvulos) partenogenéticos; 4, hembra parteongenética alada; 5, óvulos productores de hembras; 6, óvulos productores de machos; 7, hembra, 8, macho.

tenogenéticas ponen dos clases de óvulos: pequeños y grandes; los primeros dan lugar a machos; los segundos, a hembras. Después de la copulación, las hembras ponen huevos fecundados, que se conservan así durante el invierno. De éstos salen en primavera las hembras, las cuales hasta el otoño se multiplican por partenogénesis; luego, el ciclo vuelve a repetirse. En este caso se ve claramente la dependencia en que el modo de reproducción se halla respecto de las condiciones de vida. *Cuando la alimentación es abun-*

dante y las demás condiciones favorables, impera la partenogénesis; cuando falta la comida y la temperatura es baja, rige la gamogénesis.

Una sucesión de generaciones más complicada, que va acompañada de cambios de residencia y en el carácter de la alimentación de los descendientes se observa en los pulgones, v. g. en la filoxera, uno de los insectos que atacan la vid (fig. 41). Los huevos fecundados de estos insectos, conservados durante el invierno, producen en primavera hembras ápteras, "fundadoras", que dan lugar a varias generaciones de hembras partenogenéticas, también exentas de alas. Al finalizar el verano, salen de los óvulos partenogenéticos hembras aladas, las "fecundadoras", que se trasladan a la vid. Las fecundadoras ponen óvulos grandes y pequeños, que producen respectivamente hembras y machos. Las hembras ponen huevos fecundados, de los que al año siguiente, después de pasar el invierno, vuelven a salir otras "fecundadoras". El ciclo sucesivo de las generaciones se repite. Algunas veces se prolonga dos años. No puede pasarse por alto el hecho de que el número de huevos que ponen las hembras por partenogénesis disminuye de una a otra generación, y únicamente aumenta la prolificidad después de la fecundación. Este hecho ilustra la insuficiencia biológica de la partenogénesis, de que hablábamos en párrafos anteriores.

Junto a la sucesión de partenogénesis y gamogénesis en las plantas y animales se halla también extendida la *sucesión de generaciones sexuales y asexuales.* Este fenómeno de sucesión de generaciones en los vegetales será estudiado más adelante (cap. VIII). En los animales, semejante sucesión se denomina *metagénesis* y aparece fundamentalmente entre los seres inferiores: protozoarios y celentéreos (Cap. IX).

RASGOS COMUNES Y DIFERENCIAS ENTRE LA REPRODUCCION SEXUAL Y LA ASEXUAL

La teoría de Mendel y Morgan afirmaba la existencia de diferencias de principio entre el procedimiento sexual de reproducción y el asexual, diferencias que se resumían en los puntos siguientes:

1. Las modificaciones de la herencia son posibles tan sólo en la reproducción sexual.
2. La reproducción sexual es resultado de la fusión de los núcleos de los gametos.
3. Los híbridos se producen únicamente en la reproducción sexual.

K. A. Timiriázev sometió a crítica semejantes concepciones, demostrando que no hay diferencias de principio entre estas dos formas de reproducción, que las diferencias existentes no tienen un carácter absoluto y que ambas formas de reproducción se relacionan por medio de una serie de transiciones.

En efecto, en la reproducción vegetativa, brotes de plantas que vieron modificadas las condiciones de su desarrollo pueden cambiar su patrimonio hereditario y originar una nueva especie. En la actualidad se conocen numerosas variedades que tuvieron ese origen.

En la reproducción virginal (partenogénesis), que es una de las formas de la reproducción sexual, no hay unión de gametos, ni por lo tanto fusión de núcleos. Es decir, que también desaparece esta diferencia entre la reproducción sexual y la vegetativa.

Finalmente, por reproducción vegetativa, del mismo modo que por la sexual. pueden obtenerse híbridos. La hibridación vegetativa constituye en la actualidad una de las bases de la selección michurinista.

T. D. Lisenko ha descubierto la base general de la reproducción (sexual y vegetativa), que es el metabolismo, y ha mostrado la diferencia principal que las separa.

Esta diferencia consiste en que *en la reproducción sexual el desarrollo comienza desde el principio, mientras que en la vegetativa es continuación* de la fase en que fue tomado el esqueje de la planta madre. Pero también en este caso se presentan algunos casos de transición: por ejemplo, ciertas plantas de la familia de las liliáceas forman en los nudos de las ramas pequeños bulbos huecos, que son yemas transformadas. Estos bulbos valen para la reproducción (de ellos salen plantas que únicamente producen semillas el segundo año de vida). La ausencia de semillas en el primer año, en las plantas que se originan a partir de estos bulbos, prueba el retraso de su desarrollo en comparación con el organismo materno. Por lo tanto, no existen barreras insuperables entre la reproducción sexual y asexual.

Las células sexuales *son biológicamente las más complejas,* ya que en ellas se acumula toda la historia de cada estructura. Al mismo tiempo, son las menos diferenciadas, pues son *las formaciones más jóvenes.* Las células sexuales se caracterizan por su plasticidad: al desarrollarse en nuevas condiciones, se modifican.

En la reproducción sexual, la *variabilidad es mayor* que en la vegetativa, ya que cuanto más joven sea el organismo más fácil será al cambio. La asimilación recíproca de los gametos, siempre algo diferentes, enriquece la base hereditaria con posibilidades de adaptación en su desarrollo, lo que no se da en la reproducción vegetativa.

En la autofecundación, las diferencias entre los gametos que se funden son mínimas y por eso este modo de reproducción se aproxima a la reproducción vegetativa.

CONCLUSIONES

1. La variedad de procesos reproductores es resultado del desarrollo histórico de las especies de acuerdo con el medio en que viven y con la selección natural.

2. La fecundación, o asimilación recíproca de los gametos, da lugar a una contradicción en el desarrollo de los zigotos. Es el mejor modo de asegurar una más alta vitalidad en los descendientes. Sin embargo, este aumento de la vitalidad puede lograrse también por procedimientos asexuales, cuando el desarrollo transcurre en condiciones nuevas del medio exterior.

3. Entre los protozoarios pueden observarse diferentes grados de desarrollo en el proceso sexual, así como sucesión de las formas asexual y sexual de reproducción. Los organismos pluricelulares se caracterizan por la anisogamia, que es la manifestación superior del proceso sexual.

4. Uno de los modos de reproducción sexual es la partenogénesis, que biológicamente vale menos que la reprodución por fecundación. Por eso, en

los animales que se desarrollan partenogenéticamente se produce una alternancia de generaciones.

5. El fundamento, tanto de la reproducción sexual como de la vegetativa, es el metabolismo. En la reproducción sexual el desarrollo comienza desde el principio; en la vegetativa continúa.

CAPITULO V

DESARROLLO INDIVIDUAL DE LOS ORGANISMOS

Ley biogenética.

Darwin advirtió ya que los embriones de los animales son como modelos simplificados de sus antecesores. La semejanza que presentan los embriones de todos los organismos en las fases tempranas de desarrollo la atribuía Darwin a su origen común. Esta tesis darviniana fue desarrollada por F. Müller y E. Haeckel, que formularon la ley biogenética, según la cual durante su desarrollo individual (especialmente el embrionario) *todos los organismos repiten las etapas morfológicas fundamentales de sus antecesores.*[1]

Un claro ejemplo de cómo se revela la ley biogenética en las plantas lo constituye la acacia australiana, que al adaptarse al clima cálido ha modificado la forma de la hoja. El peciolo se ha desarrollado mucho, transformándose en una lámina vertical capaz de asimilación, el filodio. Sin embargo, las primeras hojas son pinnadas, como en las formas originarias; en las siguientes se pueden observar las fases de tránsito de una hoja pinnada a un filodio (fig. 42).

TEORIA DE LOS ESTADIOS DEL DESARROLLO EN LAS PLANTAS

Idea de las fases en los trabajos de I. V. Michurin.

I. V. Muchurin señaló que en el desarrollo de los vegetales existe una sucesión fisiológica de fases. Consideraba tres períodos en la vida de los árboles y arbustos frutales: el de *juventud,* el de *pubertad* y el de *madurez.* En el transcurso de estos períodos la planta elabora paulatinamente su naturaleza.

Los árboles frutales nacidos de semilla tienen al comienzo de su vida el aspecto de individuos silvestres; Michurin considera este fenómeno como una repetición en el desarrollo individual del pasado filogenético de dicha forma, es decir, una manifestación de la ley biogenética.

Michurin determinó que todos los tejidos de un árbol frutal adulto nacido de semilla no están preparados por igual para la reproducción. Los esquejes tomados de la parte superior darán fruto al mismo tiempo que el árbol madre; en cambio, los que pertenezcan a una parte próxima a la raíz lo darán mucho más tarde, pues aquéllos se encuentran en un período de desarrollo más joven. Los esquejes procedentes de distintas zonas

[1] Ver el capítulo X.

de la planta presentan diferente grado de madurez: las partes más jóvenes del vegetal son las más maduras en cuanto a la fase fisiológica de su desarrollo (fig. 43).

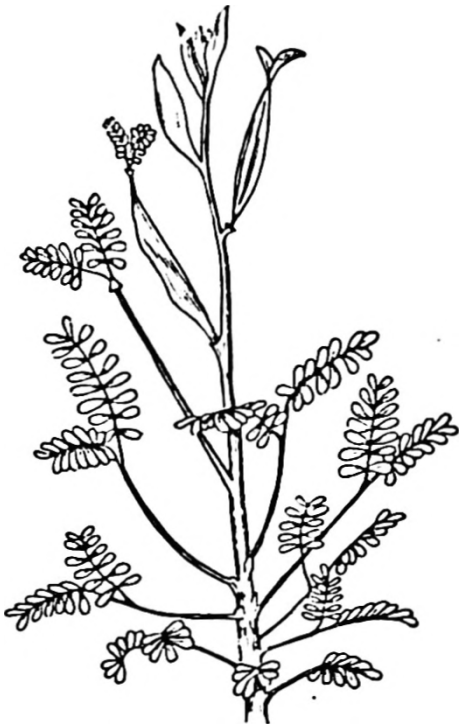


FIG. 42. Brote de acacia (*Acacia melanoxylon*). Las hojas inferiores son pinnadopartidas, las superiores se han transformado en filodios.

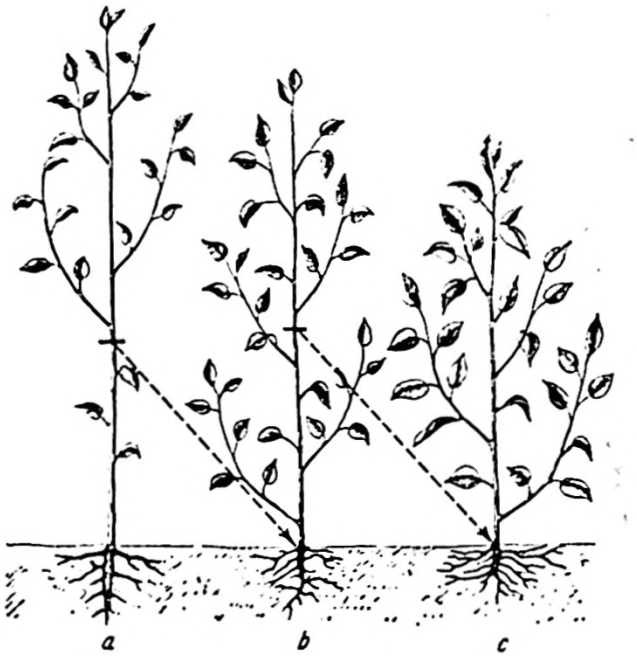


FIG. 43. Los esquejes obtenidos a partir del cuello de la raíz y de las partes superiores de los árboles tienen diferente grado de preparación para madurar: *a*, árbol nacido de semilla; *b*, árbol obtenido mediante un esqueje cortado del anterior en el punto señalado con un trazo; *c*, árbol obtenido mediante un esqueje cortado de *b* en el lugar señalado.

Por lo tanto, el desarrollo de una planta no viene determinado tan sólo por su edad; lo caracterizan también determinados estadios o fases.

El descubrimiento de esta ley dio un contenido nuevo a la teoría del desarrollo individual de los vegetales.

Teoría de T. D. Lisenko sobre el desarrollo en estadios de las plantas.

T. D. Lisenko, como continuador de las ideas de Michurin, es el autor de la teoría del desarrollo de las plantas en sucesivos estadios, que se ha convertido en una de las bases de las actuales ciencias biológicas. En ella se apoyan también los éxitos logrados por la moderna biología soviética en la creación de nuevos métodos de desarrollo dirigido en los organismos, que tan extensa aplicación encuentran en agricultura.

Lisenko ha mostrado que el *crecimiento y el desarrollo del organismo no son fenómenos idénticos,* sino dos facetas del proceso vital. *El crecimiento es la reproducción directa,* por parte de cada célula, de cada partícula del cuerpo, *de un ente semejante. El desarrollo es la reproducción de un ente semejante a través de una serie de transformaciones de entes que no lo son,* como sucede, por ejemplo, en las plantas anuales con la formación de semillas, que dan lugar a una planta igual a la materna, con todas sus

características, desde la ramificación hasta la germinación y maduración del fruto o semilla.

El desarrollo va unido a transformaciones cualitativas de la célula y a procesos de formación de órganos. El desarrollo toca a su fin y el organismo alcanza la madurez solamente *si se dan las condiciones específicas necesarias para ello.* Cuando estas condiciones faltan, el desarrollo se interrumpe sin que el organismo llegue a la madurez, a pesar de continuar el crecimiento.

T. D. Lisenko.

Cuando se dan las condiciones necesarias, el crecimiento y el desarrollo del organismo transcurren con normalidad; *si las condiciones se alteran,* aquellos procesos pueden realizarse *de diferente forma;* a veces hay un crecimiento intenso paralelo a un desarrollo lento, otras sucede lo contrario, el crecimiento es lento mientras que el desarrollo se produce con intensidad, etc. (fig. 44). Las matas de trigo que crecen por casualidad al pie del camino alcanzan la madurez y dan semillas, pero son de altura minúscula, la cantidad de semillas ínfima y los granos muy débiles. Las plantas de trigo cultivado alcanzan en su crecimiento la altura normal y dan una buena cosecha. Las semillas de trigo otoñal (que necesitan sembrarse en otoño para su desarrollo) sembradas en primavera crecen y aumentan la parte verde, pero no crean los órganos de reproducción y no finalizan su desarrollo, ya que no fructifican.

Lisenko ha descubierto y estudiado en la cadena general del desarrollo (de semilla a semilla) dos estadios o etapas que se diferencian notablemente en lo que respecta a las condiciones del medio externo necesarias al vegetal: el estadio de vernalización[1] —llamado de yarovización por Lisenko— y el fotoestadio. En la primera fase, la planta necesita un determinado complejo de condiciones: humedad, régimen de temperatura, la correspondiente aireación (incorporación de oxígeno), luz, alimentación etc.

Cada vegetal tiene su norma de necesidades, establecida en el desarrollo filogenético a lo largo de su historia. Si estas condiciones no se mantienen, la planta aumentará su masa, crecerá, pero no dará semillas.

Cuando se dan las condiciones necesarias, la yarovización o vernalización se verifica tanto en las semillas que comienzan a germinar como en las plantas adultas, que están retrasadas en su desarrollo.

Sembradas en otoño, las semillas del trigo otoñal, que exigen una etapa de temperatura baja (vernalización), encuentran las condiciones necesarias, y eso les permite atravesar normalmente este estadio. Si se siembran en primavera, su desarrollo se detiene, al no encontrar el complejo de condiciones que necesitan. El trigo trechel, que se desarrolla a temperaturas más ele-

[1] También se denomina hibernación o invernación, ya que uno de los factores principales que en el proceso intervienen es el efecto del frío necesario para la floración subsiguiente.

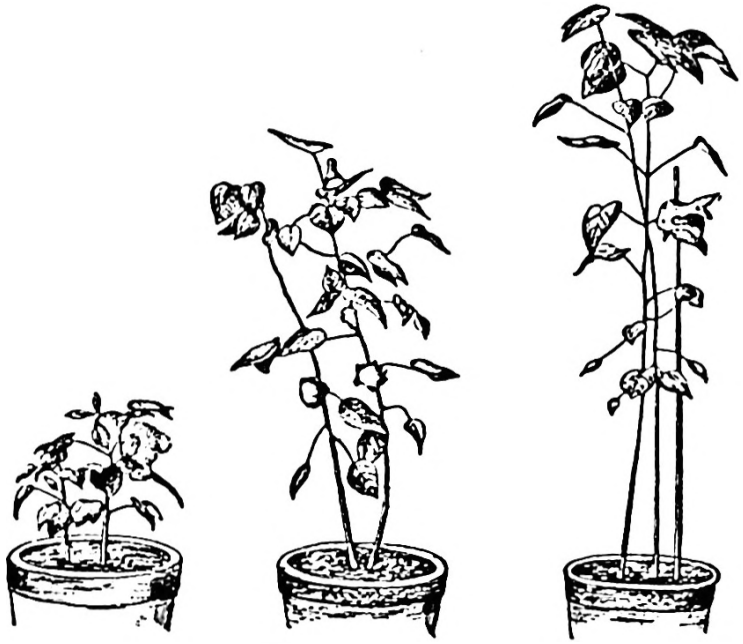


FIG. 44. Algodonero cultivado en condiciones distintas. A la izquierda, plantas que crecieron lentamente y se desarrollaron con rapidez, dando flores y cápsulas; en el centro, plantas que crecieron y se desarrollaron rápidamente, dando flores y cápsulas; a la derecha, plantas que crecieron de prisa, pero se desarrollaron con lentitud; aún no están preparadas para florecer.

vadas, encuentra en la siembra primaveral el complejo de condiciones necesarias para terminar felizmente este estadio y da fin a su desarrollo con toda normalidad.

Plantas diferentes necesitan condiciones distintas durante la etapa de vernalización; unas exigen frío, otras calor, pero ninguna puede fructificar sin pasar por este período.

Lisenko es el iniciador del *método artificial de yarovización,* que consiste en mantener las semillas antes de la siembra en determinadas condiciones de baja temperatura, humedad y aireación. El método se denomina también "vernalización", porque después de ese tratamiento las semillas otoñales *se comportan como si fuesen primaverales.* En las regiones meridionales, este método se aplica también a los cultivos de primavera.

La reducción del período vegetativo asegura la cosecha, ya que los cultivos vernalizados maduran con mayor rapidez, antes de que comience el estiaje en el verano meridional (fig. 45).

La acumulación en las células vegetales de modificaciones periódicas tiene hasta un momento determinado *carácter cuantitativo.* Después, se origina una *nueva cualidad, mediante un salto, que caracteriza el paso a un nuevo estadio o fase.* El carácter cualitativo de la acumulación por las células de modificaciones periódicas lo demuestran los experimentos de vernalización llevados a cabo con semillas. Como la fase de yarovización de las semillas de trigo otoñal es de cuarenta y cinco a cincuenta días, si la duración es menor, las plantas no llegan a espigar. Estas semillas darán espigas normales si después de conservarlas secas terminan de vernalizar, es decir, si se vuelven a poner en las condiciones de temperatura y humedad que necesitan. En este caso, para terminar la vernalización serán necesarios los días que les faltaban (fig. 46).

Una vez terminadas en las células las transformaciones cualitativas que caracterizan el fin del período vernal, pasa la planta al siguiente estadio del desarrollo, al *fotoestadio*. Se caracteriza por una gran sensibilidad del vegetal a la luz. En este período todas las plantas necesitan determinadas condiciones de iluminación, según la capacidad de adaptación lograda por cada forma vegetal en el transcurso de su historia (fig. 47).

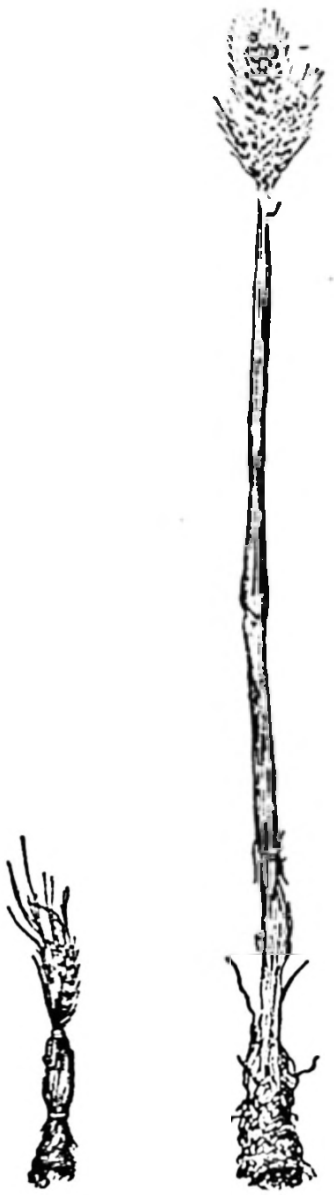


FIG. 45. Siembra primaveral de trigo otoñal Ukrainka. A la izquierda, planta de semillas no vernalizadas; a la derecha, de semillas vernalizadas. Las plantas del haz izquierdo no pudieron pasar la fase de vernalización y no dieron espigas.

La periodicidad de iluminación que existe en la naturaleza (la sucesión del día y la noche) influyen en alto grado sobre el desarrollo de las plantas. Las de las regiones septentrionales y medias, donde las noches primaverales y estivales son cortas y los días largos, tienen necesidad de un *día luminoso prolongado*. En las zonas meridionales, donde las noches son largas, estas plantas no fructificarán si no se les asegura una iluminación complementaria.

Lisenko realizó experimentos con cebada que, a pesar de haber crecido durante dos años en invernadero con diez horas diarias de luz, no llegó a espigar; en cambio, otras plantas de la misma variedad y en igualdad de condiciones, pero con una iluminación continua, dieron espigas a los veinticinco o treinta días de la siembra.

Lo mismo que durante el estadio de vernalización, para el vegetal es *indiferente la fase morfológica en que atraviesa el fotoestadio;* por eso, después de la vernalización que precede a la siembra, las semillas de plantas de "día largo" que van a ser utilizadas en las regiones meridionales se mantienen a la luz, a fin de darles a modo de una inyección de luz para todo el período vegetativo. El régimen de luz necesario para que las plantas pasen el fotoestadio, es decir, para que realicen total y normalmente el ciclo de desarrollo, ha de observarse solamente durante una parte determinada del período vegetativo, cuya duración varía según las especies.

Las plantas de las regiones meridionales necesitan durante el período de iluminación días cortos (es decir, que les hace falta una mayor duración de la oscuridad). Un algodonero sometido en el invernadero a iluminación continua durante varios años, creció sin dar fruto, excepto la rama que había sido sometida a un régimen sistemático de oscuridad (fig. 48). El maíz, planta de día luminoso corto, alcanza en las condiciones propias del día largo una altura de 3 m., pero sin desarrollar los órganos de fecundación (fig. 40). En las regiones septentrionales los cultivos propios del Sur (de día corto), el mijo, por ejemplo, se mantiene en la oscuridad después de la yarovización. A los

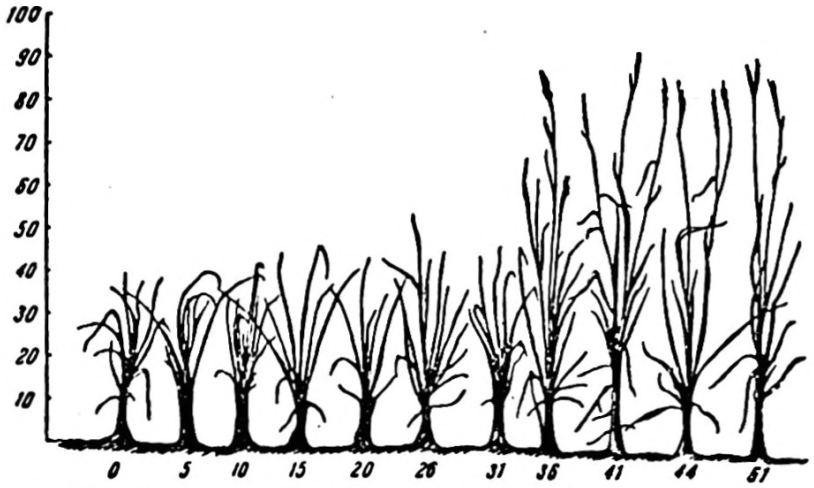


FIG. 46. Fase de vernalización. Ferrugineum 1388/I. La vernalización que precede a la siembra dura 51 días, después de lo cual el trigo da espigas.

seis o siete días de permanecer en tales condiciones, la semillas del mijo maduran según las condiciones del día largo, e incluso interrumpido del Norte. Los períodos de desarrollo de los vegetales han de transcurrir estrictamente de un *modo consecutivo,* es decir, primero la yarovización o vernalización y luego el fotoestadio. Los procesos periódicos se producen en las *células de los puntos o zonas de crecimiento* y se transmiten sólo a través de las células originadas por la división de las que integran dichos puntos. A lo largo del tallo, las células pueden poseer diferentes cualidades en lo que se refiere a los estadios (fig. 50). Diferentes partes de los tejidos pueden encontrarse en distintas fases de desarrollo. Así lo demuestran numerosos experimentos realizados con algodón, soya y otras plantas.

Una demostración de que la floración de las yemas superiores es consecuencia de la fase de madurez, y no de un acceso más fácil de las sustancias nutritivas a esta parte del tallo, nos lo brinda el siguiente experimento realizado con la soya.

Se plantaron dos matas de soya (fig. 51) que provenían de esquejes superiores, una formado de una planta que aún no había dado semilla, y el otro de una que ya la había producido. Después de echar raíces, crecieron en condiciones de iluminación continua (en las que por regla general la soya no fecunda). La primera planta no llegó a florecer, mientras que la segunda floreció y produjo semillas.

La localización en los puntos de crecimiento de los cambios producidos en los distintos estadios se han demostrado también experimentalmente, logrando que sólo determinadas partes de la planta gocen de las condiciones necesarias para uno u otro estadio. Así se hizo, por ejemplo, en los experimentos con el algodonero de que hablábamos antes.

Los procesos que se verifican en los distintos es-

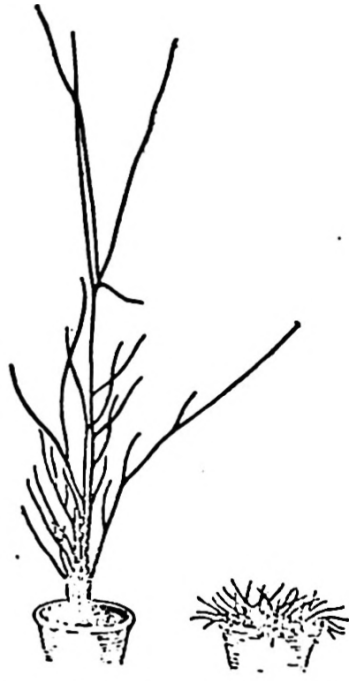


FIG. 47. Fase de iluminación. Híbrido de grama y trigo. A la izquierda, plantas que crecieron sometidas a una iluminación permanente y espigaron a los treinta días; a la derecha, plantas que crecieron durante dos años sometidas a un día de diez horas; no llegaron a espigar.

FIG. 48. Localización de las modificaciones en los estadios. Algodonero plurienal. La flecha señala la rama que fue sometida a un régimen sistemático de oscuridad.

FIG. 49 Estadio de iluminación. Maíz.

tadios son irreversibles. Las semillas que han sufrido la vernalización no puede desvernalizarse, cualquiera que sea el tiempo que las conservemos (hasta que pierden la facultad de germinar).

DESARROLLO INDIVIDUAL DE LOS ANIMALES

El desarrollo de los animales, lo mismo que el de las plantas, es un *proceso en etapas,* que deriva del pasado filogenético: de los caracteres hereditarios del organismo y del intercambio con el medio exterior.

En el desarrollo individual u *ontogénesis* de vertebrados e invertebrados que se reproducen sexualmente, hay que diferenciar el período de desarrollo *embrionario* y el de desarrollo *postembrionario.*

Crecimiento y desarrollo.

Todos los organismos crecen en el transcurso de su vida individual Como Lisenko demostró en las plantas, el desarrollo y el crecimiento so concepto muy ligados, pero no idénticos. Semejante punto de vista es ap cable por completo a los animales.

Veamos con algún detalle cómo se verifican los procesos de crecimie ontogénico en los animales.

Los primeros estadios del desarrollo individual se caracterizan gen mente por un crecimiento muy pequeño; después, su intensidad aum y vuelve a bajar al final del período embrionario; cuando llega la ma sexual, el crecimiento suele detenerse. En el hombre, el crecimiento te por regla general a los veinticinco años.

FIG. 50. Trigo otoñal Kooperatorka. A la izquierda, planta testigo (trigo), obtenida a partir de semillas corrientes; en el centro, planta obtenida con semillas procedentes de los tallos inferiores; a la derecha, planta obtenida con semillas procedentes de los tallos superiores de la misma planta.

FIG. 51. Soya. Planta cultivada en condiciones de iluminación permanente. A la izquierda, planta obtenida a partir de un esqueje de una que no dio semillas y que no llegó a florecer; a la derecha, planta obtenida de un esqueje de otra que dio semilla; después de haber crecido de nuevo el tallo de 2 mm. de longitud, se formó un capullo y dio fruto.

Las siguientes cifras pueden servir para caracterizar la intensidad del crecimiento en los períodos embrionario y postembrionario: el volumen del huevo es de 0,001 mm^3, el del recién nacido, de 3.000.000 a 4.000.000 mm^3; es decir, que en nueve meses de vida en el claustro materno la masa del embrión humano aumenta en millones de veces. El peso del recién nacido es, aproximadamente, de 3 kg., el peso medio de una persona adulta, de 60 kg.; es decir, que en veinticinco años de vida postembrionaria la masa del cuerpo aumenta sólo en 20 veces.

En la vida postembrionaria del hombre se distinguen varios períodos de crecimiento. El primero comienza inmediatamente después del nacimiento y termina al cabo de un año, cuando el peso del cuerpo se triplica. Después se observa una disminución en el crecimiento, para luego aumentar a la edad de seis o siete años. El segundo período de crecimiento se observa en las niñas entre los doce y catorce años, y en los muchachos entre los catorce y los dieciséis. Precede al comienzo de la pubertad y en parte coincide con ella.

La intensidad del crecimiento de los animales depende en gran parte de las condiciones de vida y del medio exterior: alimentación, temperatura, humedad, etc. Para que la masa aumente con normalidad se necesitan alimentos provistos de sustancias albuminoideas y, en particular, de los aminoácidos indispensables.

En muchos animales se observa un crecimiento limitado, que se interrumpe en el período de la madurez sexual, aunque ciertos organismos crecen durante toda la vida.

En el crecimiento de los animales, lo mismo que en el de las plantas, puede observarse una periodicidad. Los crustáceos crecen solamente en los períodos de muda, cuando cambian la cubierta de quitina. También es periódico el crecimiento en los peces, lo que se refleja en la estructura de los huesos (por ejemplo, en el opérculo o la cubierta branquial) y de las escamas. En los troncos de los árboles puede verse cómo alternan capas claras y obscuras que corresponden a los anillos anuales de crecimiento. Contando el número de capas se puede determinar la edad del árbol.

DESARROLLO EMBRIONARIO

En los siglo XVII y XVIII gozaba de gran predicamento la *teoría de la preformación*, según la cual el futuro organismo se encuentra ya, en miniatura, en las células sexuales, a semejanza de la flor, que existe en la yema. Los partidarios de la teoría de la preformación (los preformistas) estaban divididos en dos campos opuestos. Parte de ellos, los *animalculistas*, afirmaban que el futuro organismo se halla preformado en los espermatozoides. Uno de los representantes de esta concepción, Hamm, decía haber visto en los espermatozoides humanos las caderas, las piernas, el pecho, los dos brazos y la cabeza de la futura criatura. Los enemigos de los animalculistas, los *ovulistas* u *ovistas*, opinaban que semejantes hombrecillos (homúnculos) están contenidos en el óvulo.

La teoría de la preformación tenía que conducir sin remedio a la idea de la *escatulación* o *encajonamiento* según la cual, unos organismos están contenidos en otros, a semejanza de las esferas de diferentes tamaño del juguete infantil: basta con abrir la esfera superior roja para que aparezca una azul, dentro de la cual hay una amarilla, y así sucesivamente. En efecto, si en el espermatozoide o en el testículo hay un diminuto hombrecillo, éste habrá de tener órganos sexuales que contendrán espermatozoides o testículos con hombrecillos aun menores. Estos tendrán a su vez glándulas sexuales, en las que se hallarán hombrecillos microscópicos, etc. Por lo tanto, según la teoría de la preformación, en los primeros organismos vivos estaban contenidas ya todas las generaciones futuras, y cuando esta reserva inicial se agotase debería extinguirse tal o cual especie. Según se deduce de lo anterior, los preformistas partían de posiciones creacionistas. Negaban el desarrollo y admitían únicamente el crecimiento. Sus ideas nos parecen hoy extremadamente ingenuas.

Sin embargo, es necesario hacer referencia a las concepciones de los preformistas en la época anterior a Darwin, porque en nuestros días los weismanistas-morganistas siguen defendiendo en forma velada un preformismo algo modificado, al que dan un aspecto seudocientífico. Afirman que el futuro organismo, con todo lo específico de su estructura, las normas de conducta, etc., aparece ya en estado de genes, que se hallan en los cromosomas de las células sexuales. Los genes son invariables y la sustancia hereditaria se transmite de una a otra generación hasta la extinción de la vida. La concepción weismanista del proceso embrionario, es decir, el afirmar la transmisión por las células sexuales de una generación a otra,

independientemente del cuerpo, no difiere en nada de la teoría de la involución. Es evidente que semejantes concepciones son metafísicas e idealistas.

El primero en demostrar la inconsistencia del preformismo simplista fue el académico peterburgués Wolff (1733-1794). En el proceso de desarrollo, demostró, aparecen cada vez de nuevo los órganos del embrión de los animales y de las partes que integran los vegetales. La teoría del desarrollo del organismo, de que las partes y órganos del embrión se forman cada vez, recibió el nombre de *epigénesis*.

Después, la Embriología, ciencia del desarrollo embrionario, ha mostrado, apoyándose en numerosos ejemplos, el error de las concepciones preformistas.

La ciencia michurinista afirma que el camino filogenético recorrido por los organismos en su desarrollo parece acumularse en las células que sirven de partida para formar el organismo nuevo. El cuerpo de éste se origina cada vez de nuevo, apoyándose en la herencia y por el intercambio con el medio exterior.

Tipos de segmentación del huevo.

El desarrollo embrionario (embriogenia) de los animales depende del pasado histórico del organismo y de las condiciones exteriores; esto se refleja de modo particular en la estructura del óvulo, en la cantidad y en la distribución en él del deutoplasma. Según la cantidad y localización de éste, se distinguen tres tipos de óvulos. Si el deutoplasma es escaso y está repartido más o menos uniformemente por todo el citoplasma del óvulo, se llama *homolecito o isolecito*. Pertenecen a este tipo los de la lanceta de mar[1] (*Branchiostoma lanceolatum*), de los mamíferos placentarios, de algunos poliquetos y también de una serie de equinodermos. Los huevos *telolecitos* son aquellos en que el deutoplasma es abundante y ocupa todo el citoplasma, aunque de forma irregular. El *polo animal* o superior del óvulo es más pobre en deutoplasma que el opuesto, el *polo vegetativo*. En algunos casos, como sucede en los óvulos de la rana, se observa también una distribución irregular del pigmento: abunda en los lugares en que escasea el deutoplasma y, por el contrario, donde hay mucho de éste hay poco pigmento. Por eso el polo animal del huevo está más pigmentado y presenta un color más oscuro que el vegetativo. Los huevos telolecitos son típicos de los cefalópodos, de muchos peces acantopterigios, de los anfibios, reptiles y aves. Finalmente, muchos insectos, entre ellos los dípteros (moscas, mosquitos), tienen *óvulos centrolecitos*, en los que el vitelo nutritivo está repartido uniformemente por la mayor parte del huevo, dejando libre tan sólo la periferia. El núcleo ocupa en un comienzo el centro de la célula.

No cabe la menor duda de que el tipo de estructura ovular, que varía incluso dentro de organismos pertenecientes a una misma familia, se ha formado a lo largo de la historia, bajo la influencia de la selección. Ello es reflejo de las condiciones en que se verifica el desarrollo embrionario. Por ejemplo, el embrión de las aves y de la mayoría de los reptiles se desarrolla fuera del organismo materno, y por eso los huevos de estos anima-

[1] *Amphioxus lanceolatus*.

les contienen grandes reservas alimenticias. Lo mismo sucede con los mamíferos ovíparos (ornitorrinco, equidna). Los mamíferos placentarios, cuyos embriones se desarrollan en el claustro materno y reciben de la madre las sustancias nutritivas necesarias, tienen huevos pequeños (hasta 0.2 mm), pobres en deutoplasma; pertenecen al tipo homolecito.

Las células sexuales así como el huevo o zigoto, son biológicamente las más completas. En el proceso de desarrollo, esta complicada célula se subdivide en otras más simples y al mismo tiempo más diferenciadas, que poseen diferentes cualidades. La cualidad distinta de las células del embrión viene determinada por la herencia y por las condiciones del medio. Por lo tanto, el desarrollo va unido a una serie de divisiones consecutivas del huevo, acompañadas de complicados procesos de diferenciación celular.

La división del huevo se denomina segmentación, y las células que se originan como resultado de ella, *blastómeros* o esferas de segmentación. La importancia del proceso de segmentación radica en la división repetida del óvulo, que da lugar a una gran cantidad de células. La formación de estas últimas es condición indispensable para pasar al siguiente período del desarrollo embrionario, a la formación de las hojas embrionarias.

Existen varios tipos de segmentación, según la cantidad de vitelo, es decir, según el tipo estructural del huevo y también de las condiciones en que éste se desarrolle. La segmentación se califica de *total* cuando la célula que constituye el huevo se divide, mediante los surcos de segmentación, primero en dos blastómeros, luego en cuatro, etc. Es decir, que toda la masa del huevo se transforma en el cuerpo del embrión. En cambio, la segmentación es *parcial* cuando sólo una parte del huevo interviene en la formación de los blastómeros; la masa restante se consume en la embriogenia, en su mayor parte, como producto nutritivo.

Los surcos abarcan en la segmentación parcial únicamente un espacio limitado del huevo, su polo animal. Los huevos en los que la segmentación es total se llaman *holoblásticos;* los de segmentación parcial, *meroblásticos.*

Cuando la segmentación es total, los blastómeros pueden ser de dimensiones más o menos semejantes, cosa que sucede en la segmentación total e igual que se observa en los huevos de las apendicularias, del erizo de mar (fig. 52) y de otras formas, cuyos óvulos son homolecitos. En otros casos, en los anfibios por ejemplo, los blastómeros se diferencian por su tamaño. Los que se encuentran en el polo animal son menores que los situados en el polo vegetativo (fig. 53). Los primeros son los *micrómeros,* los segundos, los *macrómeros.* La diferencia de tamaño de los blastómeros se debe a que el deutoplasma o vitelo nutritivo, concentrado principalmente en el polo inferior del huevo, frena en esa parte el proceso de división de las células. Semejante tipo de segmentación se conoce con el nombre de *segmentación total y desigual.* Es, en cierto grado, una transición a la segmentación incompleta.

A su vez, la segmentación incompleta puede ser ya *discoidal* ya *superficial.* La discoidal se caracteriza por dividirse una pequeña parte del huevo, rica en protoplasma y que contiene el núcleo. Esta porción plasmática del huevo se encuentra en el polo animal, debido a la gran acumulación de vitelo formativo. Por eso, cuando la segmentación es discoidal, tienen los embriones en las fases tempranas de desarrollo la forma de caperuzas o discos, situados en el polo animal del huevo (fig. 54). Este tipo de segmentación puede observarse en las aves, los reptiles y en la mayoría de peces

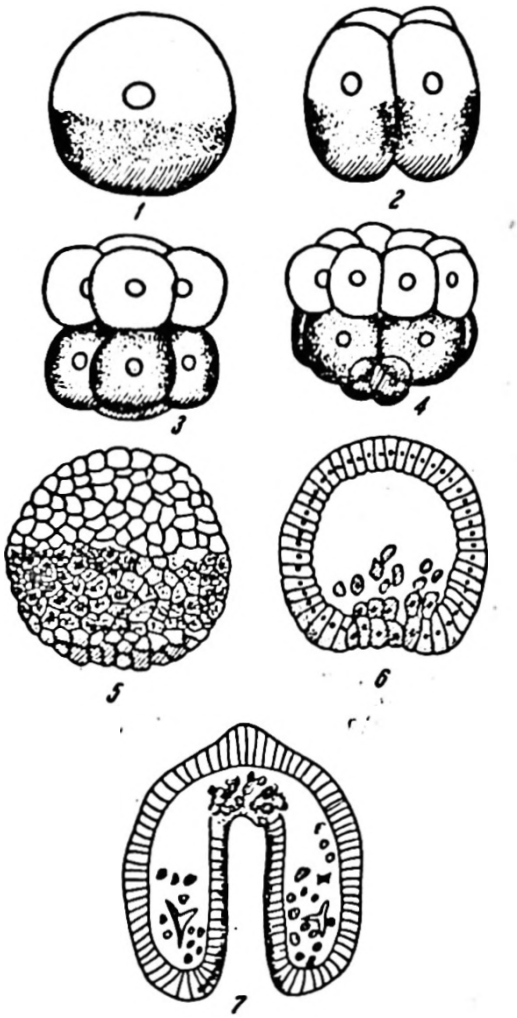


FIG. 52. Desarrollo del erizo de mar: 1, huevo; 2, 3, 4, fases de la segmentación con 4, 8 y 16 blastómeros, respectivamente; 5, blástulas; 6, migración de las células del mesénquima; 7, gástrula.

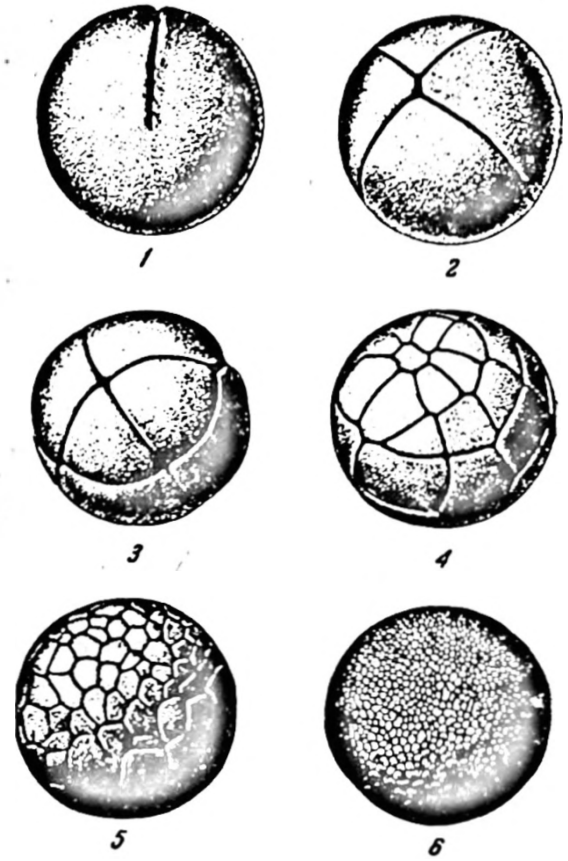


FIG. 53. Segmentación de un huevo de rana: 1, primer surco de segmentación; 2, 3, 4, fases de la segmentación con 4, 8 y 32 blastómeros, respectivamente; 5 y 6, dos fases de la blástula (temprana y más avanzada).

acantopterigios, con huevos telolecitos. La segmenatción *superficial* se observa en los huevos centrolecitos; se llama así porque solamente la parte periférica del huevo participa en la formación del cuerpo del embrión; la central está llena de plasma nutritivo (fig. 55).

Según la disposición de los blastómeros caben dos tipos de segmentación. En uno de ellos, a partir del estadio de ocho blastómeros, éstos se distribuyen por estratos, unos encima de otros. En tales embriones cabe distinguir varios planos de simetría. Semejante segmentación se llama *radial;* es propia de las apendicularias, los anfibios, los equinodermos y otros animales. El otro tipo de segmentación, el *espiral,* se caracteriza porque los blastómeros se distribuyen siguiendo una línea espiral, es decir, que el embrión es asimétrico.

Este tipo de segmentación puede observarse en los gusanos nematelmintos y anélidos y casi en todos los moluscos (fig. 56). Se considera que la espiral fue la segmentación primitiva de los animales pluricelulares. De ella tomaron su origen la radial y la incompleta.

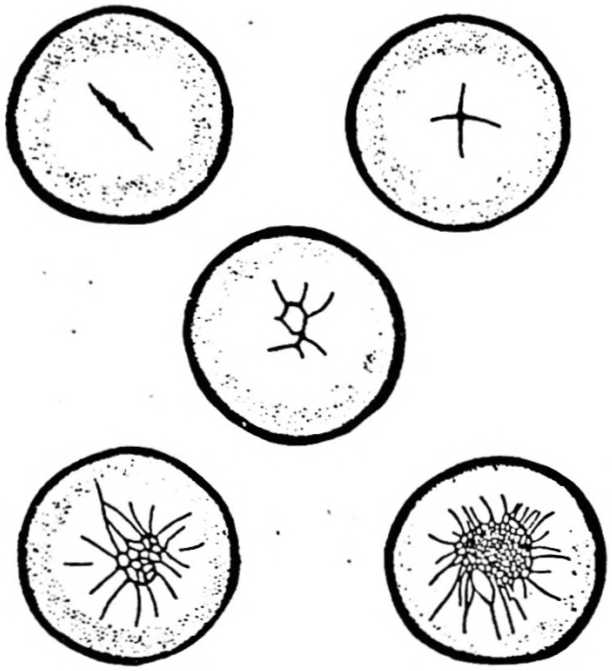


FIG. 54. Segmentación de un huevo de gallina.

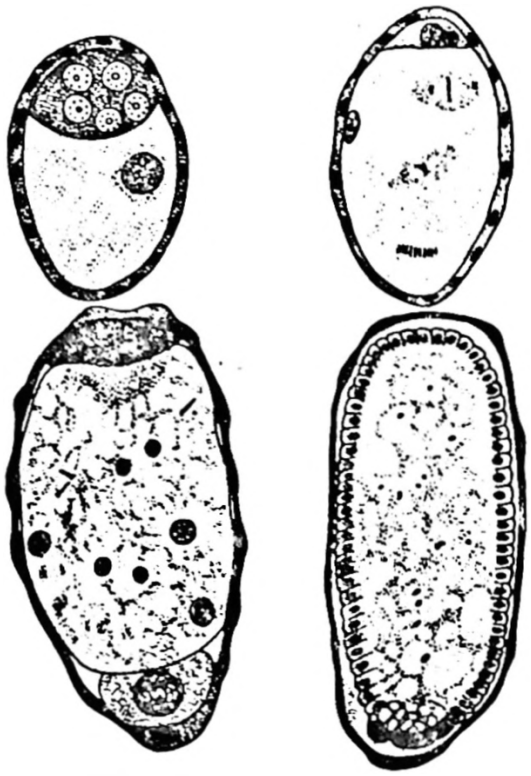


FIG. 55. Fases sucesivas de la segmentación de un huevo de mosquito.

Veamos algunos ejemplos de cómo se desarrollan las primeras etapas de la embriogenia. Para ilustrar el proceso de la segmentación igual y total pueden servir los animales del género *Kovalévskia* (apendicularias). Fue A. O. Kovalevski el primero en estudiar su embriogenia. En este caso, los dos primeros surcos de segmentación tienen posición meridiana y son perpendiculares entre sí. El tercer surco rodea el embrión según el plano ecuatorial. Los ocho blastómeros originados por las tres primeras segmentaciones del huevo están colocados en dos zonas de cuatro y cuatro. A continuación se produce una serie de divisiones consecutivas, cuyos planos van tanto en dirección meridiana como ecuatorial. En este tipo de segmentación todos los blastómeros se dividen a la vez (sincrónicamente). Por eso, el número de células se va duplicando en las divisiones consecutivas (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, etc.). Como en el proceso de segmentación no aumenta la masa, las dimensiones de las células van disminuyendo progresivamente. El embrión acaba por adquirir una forma semejante al fruto del moral, la llamada *mórula*. En las siguientes divisiones, que conducen a un aumento del número de células, éstas se distribuyen en una capa, que deja en el centro una cavidad, el *blastocele* o *celoma primitivo*. Esta fase, en que se forma una capa a modo de esfera hueca, se denomina *blástula*. La blástula consta de dos partes, la superior o *techo* y la inferior, o *fondo*. La blástula de las apendicularias es un poco más delgada por la parte del techo (fig. 57). Además, el blastocele constituye una amplia cavidad situada en el centro del embrión. Con la formación de la blástula termina la primera etapa morfológica de la embriogenia, el período de segmentación. Seguidamente se inicia la *gastrulación*, cuyo desarrollo será estudiado más adelante.

En la segmentación total y desigual, de la que puede servir de ejemplo el huevo de rana, los dos primeros surcos se producen también por los meridianos; el tercero, en dirección ecuatorial. A diferencia de lo que sucede con las apendicularias, los blastómeros son en este caso de dimensiones distintas: los superiores son de menor tamaño que los inferiores. Esta diferencia continúa manteniéndose después entre las células del polo animal y del vegetativo. Como los blastómeros del polo vegetativo son más ricos en deutoplasma, su segmentación comienza a retrasarse en comparación con la de las células del polo animal. Por tanto, en la segmentación total y desigual, la división de las células es asincrónica. Hay que señalar también que la pared de la blástula de la rana está formada por varias capas de células y tiene el techo más delgado que el fondo.

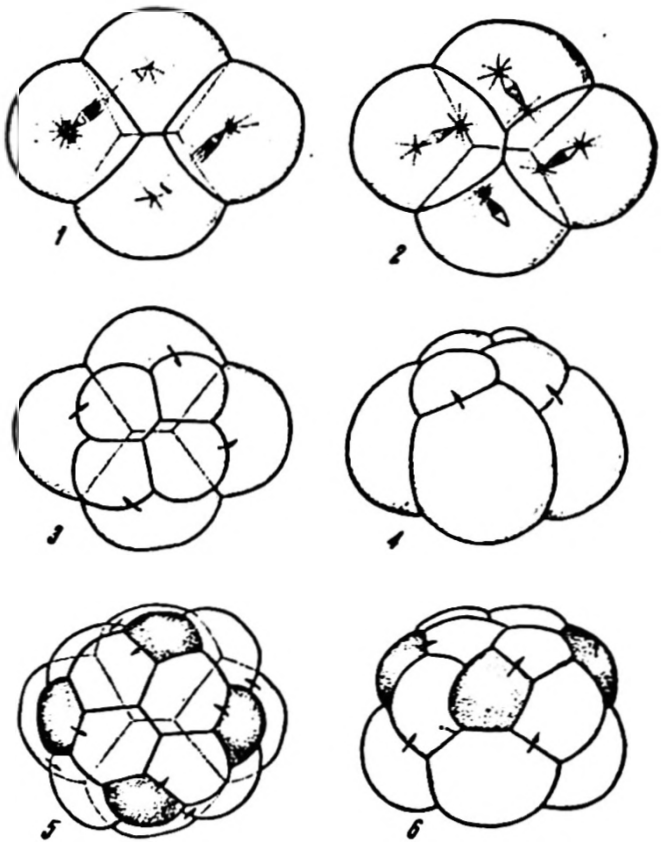


FIG. 56. Segmentación de un huevo de molusco: 1 y 2, fase de 4 blastómeros; 3 y 4, fase de ocho blastómeros.

En la segmentación discoidal, por ejemplo, en el huevo de las aves (véase pág. 83), los surcos de segmentación se limitan a una pequeña parte del huevo, a la parte más clara del polo animal, llamada *mancha germinativa*. Al principio, los surcos tienen dirección meridiana. Después de tres o cuatro divisiones en esa dirección, comienza la segmentación según planos paralelos ecuatoriales, formándose la *discoblástula*, constituida por varias filas de células. En su centro, las células se separan del vitelo subyacente, llenándose de líquido el espacio originado (blastocele). Como resultado de ello, el disco embrionario se divide en una zona central de color claro y en otra periférica oscura.

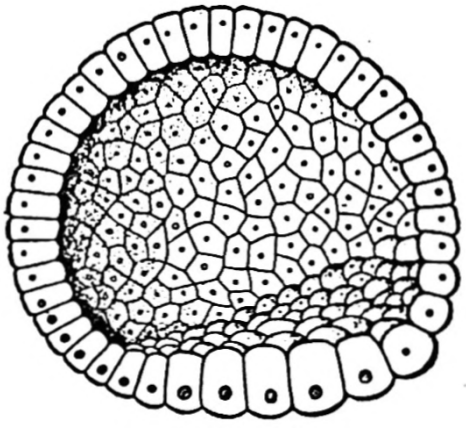


FIG. 57. Sección de la blástula de la lanceta de mar (*Amphioxus*).

En la segmentación superficial, propia de los dípteros, se produce primero una división múltiple del núcleo en el centro del huevo. Los núcleos hijos que se forman se trasladan a la superficie del mismo, por lo que en el proceso de segmentación participa la capa periférica del citoplasma. Allí se forman células, agrupadas en un solo estrato, que originan el *blastodermo* (pared de la blástula). Dentro del blastodermo se halla el deutolecito. Los

núcleos que quedan en el vitelo se transforman en vitelofagos, células a cargo de las cuales corre la transformación del deutoplasma. Parte del blastodermo lo constituyen células de más altura, debido a lo cual se origina un ensanchamiento longitudinal, la *zona embrionaria.* A partir de ella se formarán después las partes fundamentales del embrión.

Períodos citotípico y organotípico de desarrollo.

En su desarrollo, el embrión atraviesa, según la terminología de I. P. Ivanov, dos períodos: el citotípico y el organotípico. En el *período citotípico* los blastómeros gozan de gran independencia y de amplias posibilidades de desarrollo, asemejándose en ello a la célula ovular, es decir, que biológicamente son aún muy complejos. La simplificación que lleva consigo la diferenciación no puede aún revelarse de un modo patente. Por eso, como lo demuestran numerosos experimentos, en la división artificial de los blastómeros, y a veces incluso en condiciones naturales (gemelos uniovulares), cada blastómero puede originar un organismo completo. Por último, en este período, la relación entre los volúmenes del núcleo y de toda la célula, es decir, la relación nucleo-plasmática no guarda constancia. Los equinodermos y apendicularias terminan el período citotípico cuando el embrión consta de 1,150 células; las ranas, cuando su número es de 6,000, aproximadamente.

Una vez terminado el período citotípico, el embrión pasa al *período organotípico.* A partir de este momento, la relación nucleo-plasmática de las células embrionarias es más o menos constante. Durante este período se engendran y desarrollan los órganos del futuro organismo adulto.

El período organotípico comienza con la gastrulación, cuyo resultado es la distribución del material celular en dos capas. La gástrula la constituyen las hojas embrionarias exterior e interior, llamadas también *ectodermo* y *endodermo.* El proceso de gastrulación de muchos animales superiores comprende también la formación de una tercera hoja, situada entre las dos anteriores, que se denomina *mesodermo* o *mesoblasto.* La teoría de las hojas embrionarias, que establece la unidad de las formas animales en cuanto a su desarrollo embrionario, se debe principalmente a A. O. Kovalevski e I. I. Méchnikov.

Tipos de gastrulación.

El proceso de gastrulación o formación de la gástrula puede realizarse de diversos modos. Generalmente, se estudian cuatro tipos fundamentales de gastrulación: *invaginación o embolio, migración, epibolio y delaminación.*

En la invaginación se produce el hundimiento del fondo de la blástula resultando un saco de dobles paredes; la pared externa constituye el ectodermo; la interna, el endodermo. Esta modalidad de gastrulación se observa en las apendicularias, erizos de mar y algunos otros organismos (fig. 58).

Según las observaciones de Méchnikov, los celentéreos y otros animales originan la gástrula por la migración hacia el blastocele de una parte de las células que constituyen la pared de la blástula. Si semejante traslado se lleva a cabo desde todos los puntos de la superficie interior de la blástula, cosa que puede suceder, estaremos en presencia de una *migración multipo-*

lar (fig. 59). Sin embargo, lo frecuente es la migración *unipolar*, en la que las células se trasladan de una sola parte de la pared blastular. Estas células llenan el blastocele, pero sin llegar a estar apretadas, y entonces el embrión lo forma una capa exterior de células y una masa interior de ellas. Esta fase la denominó Méchnikov *parenquímula*. Después, parte de las células desplazadas se destruyen; el resto se mezcla activamente y se adhiere a la capa exterior, formando otra capa interior, continua. La pared de esta doble vejiga puede romperse en un espacio limitado, formándose por segunda vez otro saco también de dobles paredes. Según Méchnikov, la invaginación no es más que una modificación de la migración unipolar. Por lo tanto, Méchnikov descubrió *el tipo inmigratorio de gastrulación*.

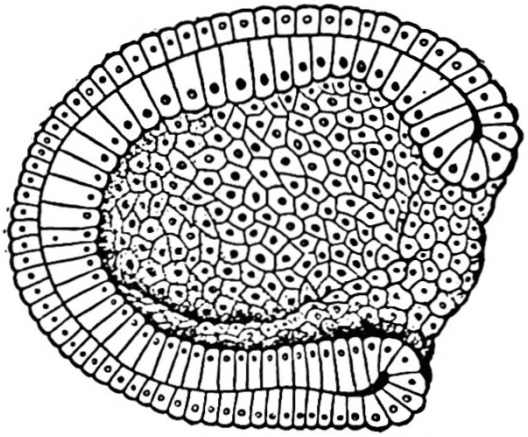


FIG. 58. Sección de la gástrula de la lanceta de mar (*Amphioxus*).

Además de por invaginación y migración la gástrula puede formarse por epibolio. En este caso, como sucede, por ejemplo, en los anfibios, las células del polo animal se multiplican con gran intensidad, avanzando hacia las del polo vegetativo (que se reproducen lentamente) y reabsorbiéndolas. Esto hace que sean ellas las últimas que se cubren.

Hay que observar que en los anfibios tiene lugar no sólo el epibolio, sino también la invaginación, o sea una especie de gastrulación combinada: por epibolio y asimismo por invaginación.

Por último, cuando la segmentación es discoidal, como les sucede, por ejemplo, a las aves, la diferenciación de ectodermo y endodermo es consecuencia de la diferenciación en dos hojas del embrión, que al principio estaba constituido por una sola hoja. A esto se le llama delaminación.

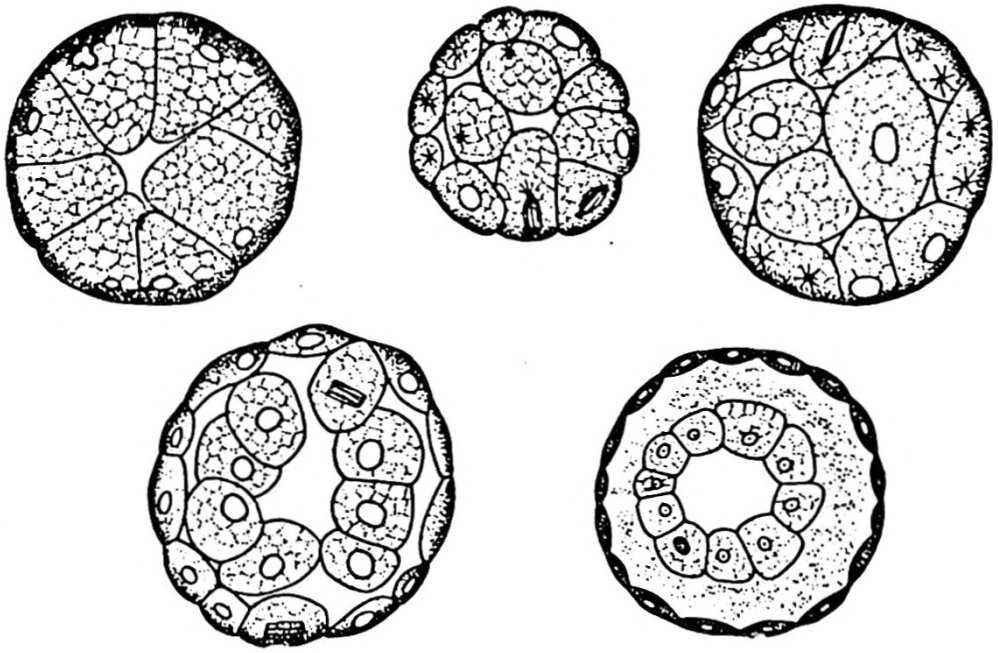


FIG. 59. Formación del endodermo en una medusa.

La delaminación aparece también en el desarrollo de los huevos de los mamíferos. Los reptiles la combinan con el embolio, mediante un retorcimiento que se produce en el centro de la primera capa.

Los tipos de gastrulación que hemos descrito no son independientes unos de otros. Todos ellos están relacionados entre sí y presentan diferencias, que son modificaciones ocurridas a lo largo del proceso de evolución de las correspondientes formas. Por ejemplo, la gastrulación de las aves presenta una serie de diferencias respecto a la de las apendicularias y de los anfibios. Sin embargo, en las aves también se presenta la migración del material celular (fenómeno típico de la gastrulación de apendicularias y anfibios), lo que origina, en fin de cuentas, la formación de un embrión, cuya envuelta está compuesta de tres capas. En el centro de la cicatrícula se destaca un tabique llamado *placa embrionaria*. Los procesos de desarrollo que transcurren en ellas originan un traslado de los materiales, de lo que resulta una condensación de células, apareciendo la llamada *franja primaria*.

Diferenciación de las partes del embrión.

Como ya decíamos anteriormente, la gastrulación da lugar, en lo fundamental, a un embrión constituído por dos estratos, a consecuencia de lo cual las células comienzan a diferenciarse sensiblemente. En este período, el cuerpo del animal lo constituyen el ectodermo y endodermo. Los animales pluricelulares inferiores (esponjas y celentéreos) son de *dos capas*. Todos los órganos se desarrollan en ellos a partir de las dos hojas embrionarias primarias. Los demás animales pluricelulares pertenecen al grupo de *tres capas*. Sus órganos se derivan de tres hojas embrionarias, el ectodermo, el endodermo y el mesodermo. Entre el ectodermo y el endodermo puede conservarse el resto del blastocele, que corresponde a la primera cavidad del cuerpo. En endodermo cubre el *gastrocele*, cavidad que constituye el *intestino primitivo o arquenterón*, que se comunica con el exterior mediante un orificio denominado *blastóporo* (boca primitiva).

Según la función del blastóporo en el desarrollo ulterior, todos los animales se clasifican en dos grandes grupos: *de boca primitiva*, en los que el blastóporo de la gástrula corresponde a la boca del metazoo adulto, y de *boca secundaria*, en que el blastóporo se transforma en abertura anal, siendo la boca de los animales adultos de formación secundaria. A los primeros pertenecen gusanos, artrópodos y moluscos; a los segundos, equinodermos y cordados.

La parte de la gástrula limítrofe con el blastóporo tiene las siguientes particularidades: a partir del borde o labio superior del blastóporo comienzan a formarse los *órganos axiles* del embrión, entre otros el tubo nervioso. Si trasplantamos el tejido del labio superior del blastóporo de un embrión (nos referimos a los vertebrados: peces, anfibios, aves y mamíferos) al ectodermo de otro, obtendremos la posible formación de un embrión complementario.

El material de la gástrula está aún poco diferenciado; las células pueden transformase en diferentes sentidos. Por ejemplo, si trasplantamos un trozo de embrión, de la parte de la gástrula que produce generalmente la epidermis, a la zona que ha de transformarse en el tubo nervioso, y viceversa, trasladamos material de esta parte a la que luego dará la epidermis, las porcio-

nes trasplantadas se desarrollarán en el mismo sentido que los tejidos que las rodean. Sin embargo, poco a poco, las partes del embrión se van diferenciando más y más, y cuando se realiza en el tubo nervioso el trasplante arriba expuesto deja de dar resultados.

Terminado el proceso de gastrulación, comienza la formación de los órganos o período de *organogenia*. Pero antes de comenzar el estudio en rasgos generales de la organogenia, es necesario detenerse en los modos de formación de la tercera hoja embrionaria o mesodermo, situada entre el ectodermo y el endodermo.

Formación de la tercera hoja embrionaria.

La tercera hoja embrionaria o mesodermo se origina de dos modos. En muchos animales de boca primaria, ya en el estado de blástula se diferencian dos células, que durante la gastrulación pasan al interior junto con el endodermo. Después comienzan a desarrollarse, convirtiéndose en el blastocele, del que luego resultará la hoja embrionaria intermedia. Tal procedimiento de formación del mesodermo recibe el nombre de *teloblástico*. En las apendicularias la diferenciación del mesodermo comienza en un período más tardío de la embriogenia y se verifica de otra manera. El material del intestino primitivo produce unas evaginaciones laterales, que luego se transforman en cordones y se sitúan entre el endodermo y el ectodermo. Estos cordones aumentan de tamaño y dan lugar a dos aletas mesodérmicas, que al principio son macizas, pero luego comienzan a diferenciarse; el mesodermo de cada lado se divide en dos partes: una superior o dorsal y otra inferior o ventral. Inmediatamente, la parte dorsal se segmenta a su vez en los *segmentos primitivos o somitas*.

El mesodermo ventral permanece insegmentado, y lleva el nombre de *placa* u *hoja lateral* o *esplacnotoma*.

Las somitas quedan unidas a la hoja lateral mediante pequeños filamentos llamados *apéndices de segmentación*. Al principio, las hojas laterales son compactas, pero después se forman en su interior unas cavidades: se desdoblan a cada lado en dos hojas que dan lugar a los *sacos celómicos*, los cuales se juntan por la línea media del embrión. Las paredes de los sacos celómicos las constituyen las hojas laterales. La hoja adosada al ectodermo forma la *hoja parietal del meodermo* o *somatopleura*. La que está en contacto con el endodermo da lugar a la *esplacnopleura* (*hoja visceral del mesodermo*). La cavidad comprendida entre las hojas del esplacnotoma se llama *cavidad secundaria* o *celoma*. Las partes de la somatopleura y la esplacnopleura que quedan sin diferenciar forman el mesénquina. Este modo de formación del mesodermo se llama *enterocélico*.

En el proceso de desarrollo embrionario los órganos pueden originarse a partir de capas de células o por desmembración de ciertas células y grupos de ellas. La capa celular puede ensancharse o desdoblarse, las hojas dan lugar a la formación de tubos, de diferentes protuberancias, etc.

La *hoja embrionaria exterior* da lugar al epitelio epidérmico, al sistema nervioso central y a los órganos receptores. El mismo origen tienen también las secciones inicial y final del tubo digestivo.

En los vertebrados, el *tubo nervioso* procede de la *lámina nerviosa* ectodérmica, situada en la parte superior del cuerpo del embrión. Los bor-

des de la lámina comienzan a elevarse, originando los *haces nerviosos,* que se distribuyen paralelamente. La lámina nerviosa, que adquiere la forma de un canal alargado, se adentra en el embrión, que en esta fase se denomina *néurula.* Los bordes del ectodermo se juntan cubriendo el rudimento subyacente de sistema nervioso, el cual se transformará después en el tubo nervioso. La cavidad de este último, llamada *neurocelo,* comunica por la parte anterior con el exterior y por la posterior con el interior del intestino.

Luego, la diferenciación de distintas partes del tubo origina la médula y el encéfalo; éste tiene en un principio tres vesículas —las vesículas encefálicas primordiales—, de las cuales la anterior y la posterior se subdividen a su vez en dos, quedando constituído el encéfalo por cinco vesículas que originarán: la primera o telencéfalo, el cerebro anterior; la segunda o diencéfalo, el intermedio; la tercera o mesencéfalo, el cerebro medio; la cuarta o metencéfalo y la quinta o mielencéfalo, el cerebelo, el puente de Varolio y el bulbo raquídeo.

El *endodermo* origina el intestino, mejor dicho, su capa epitelial. Solamente las partes anterior y posterior del tubo digestivo son, como ya se ha dicho anteriormente, de naturaleza ectodérmica. De la hoja embrionaria interior habrán de formarse también las glándulas digestivas: el hígado y el páncreas. Las glándulas parietales del aparato digestivo se forman mediante la contracción del endodermo; las vellosidades del intestino, por hinchamiento del mismo. En las fases tempranas de desarrollo, el abultamiento, que aparece a lo largo de toda la parte dorsal del intestino primario, da lugar en una serie de animales a la cuerda dorsal, mediante su transformación en un cordón resistente. También se derivan del endodermo los conductos y órganos de la respiración: la tráquea, los bronquios y los pulmones.

Son muy variados los elementos del organismo a que da lugar la *hoja embrionaria intermedia.* De ella se derivan el esqueleto, los músculos, la sangre, el aparato circulatorio (corazón y vasos), los ligamentos (tejido subcutáneo, concretamente la dermis, tendones, haces, etc.), los órganos de secreción y las glándulas sexuales. También se derivan del mesodermo las membranas que existen en las cavidades del cuerpo (peritoneo) [1].

Envolturas embrionarias.

La influencia que en el desarrollo embrionario tienen las condiciones del medio ambiente y la historia anterior se aprecia al estudiar los procesos de segmentación y gastrulación. Puede servir también de ilustración el desarrollo de las envolturas embrionarias.

Se sabe que la vida comenzó en el agua, y que en un principio poblaron nuestro planeta animales acuáticos (protozoos, esponjas, celentéreos, gusanos, moluscos, crustáceos, etc.). Sólo mucho después abandonaron los animales el agua, dando origen a las formas terrestres. Esto también se puede aplicar íntegramente a los vertebrados. Los representantes inferiores de este grupo (ciclóstomos y peces) son acuáticos; los superiores (reptiles, aves y mamíferos), terrestres. Los huevos de los animales acuáticos, incluso

[1] Pueden encontrarse datos más detallados en las obras de Embriología del hombre y los vertebrados.

de los vertebrados inferiores, se desarrollan en el agua. Por eso no les fue necesario elaborar dispositivos que preservasen al huevo de la desecación y deformación. Los animales vertebrados terrestres constituyen el grupo de los *amniotas,* cuyo desarrollo se lleva a cabo en tierra, por lo cual se originan en ellos envolturas embrionarias especiales, que desempeñan importantísimas funciones en el período embrionario. Son tres estas envolturas: el *amnios* o *membrana acuática,* la *serosa* y el *alantoides.* Las dos primeras se forman a partir de unos repliegues o envolturas amnióticas que aparecen en los costados del cuerpo del embrión. Por fuera, están cubiertas por el ectodermo; en su parte interior, se encuentra la hoja parietal del mesodermo. Estas envolturas crecen las unas al encuentro de las otras, llegando a juntarse hasta encerrar al feto. Este queda, por tanto, envuelto por dos membranas, una interior, el amnios, cuyo ectodermo está vuelto hacia el embrión, y otra exterior o membrana serosa. Entre el amnios y el embrión se acumula una determinada cantidad de líquido, dentro del cual sigue desarrollándose el animal. Por lo tanto, el desarrollo embrionario de los vertebrados terrestres se realiza de hecho en un medio acuático.

Pertenecen a los amniotas los reptiles, las aves y los mamíferos. Los vertebrados inferiores (ciclóstomos, peces y anfibios), que carecen de amnios, se llaman anamniotas.

Después de haberse formado el amnios, entre él y la membrana serosa comienza a crecer una especie de saco constituído por el ectodermo y la hoja visceral del mesodermo. A partir de él se forma la tercera membrana embrionaria, *el alantoides* o vejiga urinaria. El alantoides realiza una función de excreción. También le sirve al embrión de aparato respiratorio. El alantoides participa en los mamíferos en la formación de la *placenta* o *cordón umbilical,* órgano con ayuda del cual se realiza el enlace entre el embrión y el cuerpo de la madre. Hay que señalar que también entre los insectos, cuyos huevos se desarrollan fuera del agua, se forman durante la embriogenia el amnios y la membrana serosa, que desempeñan la misma función que en los amniotas.

Causas de las monstruosidades.

Entre los representantes de todos los grupos de animales se encuentran monstruosidades, que pueden referirse a la estructura de todo el organismo o de partes u órganos aislados.

Según el grado de deformación, puede tratarse de monstruosidades graves y de anomalías en el desarrollo. En la mayoría de las personas, por ejemplo, están latentes elementos de desarrollo anómalo, como son los lunares, las excrecencias cutáneas, etc. La aparición de monstruosidades graves es un fenómeno relativamente raro.

Es necesario señalar también la presencia de una serie de correlaciones que dan lugar a gran variedad de monstruosidades en un mismo individuo. Este fenómeno ha sido estudiado experimentalmente en los animales: la alteración de los rudimentos embrionarios de una de las regiones anatómicas da como resultado la combinación de defectos de desarrollo, por ejemplo, en el sistema nervioso central y en las extremidades. Rela-

ciones análogas fueron descubiertas de manera espontánea en los embriones humanos (fig. 60).

El origen de una monstruosidad suele estar relacionado con: 1) retrasos en el desarrollo de un órgano o parte del organismo; 2) el desarrollo exagerado o duplicación de un órgano (dos o más corazones) o de todo el organismo; 3) la falta de separación de los elementos pares de un órgano [fisura palatina, labio leporino (fig. 61)] o la fisura de un órgano ya formado, a causa de una hipertensión amniótica, etc.

Los monstruos dobles y múltiples son consecuencia de la separación incompleta de los mellizos; ambos embriones pueden desarrollarse simétrica y uniformemente (fig. 62) o bien uno de ellos, que se desarrolla normalmente, es el portador del otro, que desempeña respecto a él el papel de parásito (fig. 62 a). Los monstruos dobles y múltiples pueden ser debidos también a la unión de gemelos, que al principio crecían separados.

Un experimento realizado con animales mostró que la lesión de un órgano puede conducir a una regeneración múltiple, es decir, a la reconstitución de varios órganos nuevos en lugar de uno perdido (véase página 130); no queda excluída la posibilidad de que sea éste el mecanismo de la polidactilia en el hombre. También pueden aparecer monstruos por heteromorfosis, es decir, por el crecimiento de un órgano en lugar de otro perdido (ver pág. 130).

Puede ser también causa directa de las monstruosidades el desplazamiento de tejidos de unas partes del embrión a otras.

Según la gravedad de las monstruosidades, los embriones mueren en diferentes etapas de su desarrollo, o bien continúan viviendo en el período posembrionario.

La aparición de monstruos humanos se debe a la alteración de las condiciones en que transcurre el embarazo, a procesos de irritación de la mucosa de la matriz, a trastornos de circulación de la sangre o a otros cambios de las condiciones de desarrollo del embrión. Un importante papel en la aparición de anomalías en el desarrollo parece corresponder al amnios (unión con el amnios, formación de hilos amnióticos, hipertensiones, etc.).

DESARROLLO POSEMBRIONARIO

Se conoce con el nombre de desarrollo posembrionario el conjunto de transformaciones que el organismo experimenta desde que sale de la cáscara del huevo, o desde el parto, hasta que muere.

Desarrollo posembrionario directo e indirecto.

Se acostumbra a distinguir dos clases de desarrollo posembrionario, el *directo* y el *indirecto*. El último se suele denominar desarrollo con transformaciones o *metamorfosis*.

La metamorfosis se caracteriza por la existencia entre el embrión y el organismo adulto de una fase especial de *larvas*. Con frecuencia hay varias formas larvarias. Es típico de las larvas la presencia de órganos larvarios específicos, de los que carecen el embrión y el organismo adulto, que en esta etapa de la vida sirven como medio de adaptación. La larva mantiene

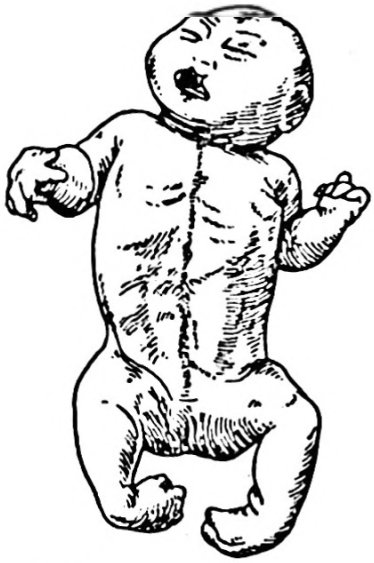


FIG. 60. Monstruosidad múltiple.

FIG. 61. Niño con labio leporino.

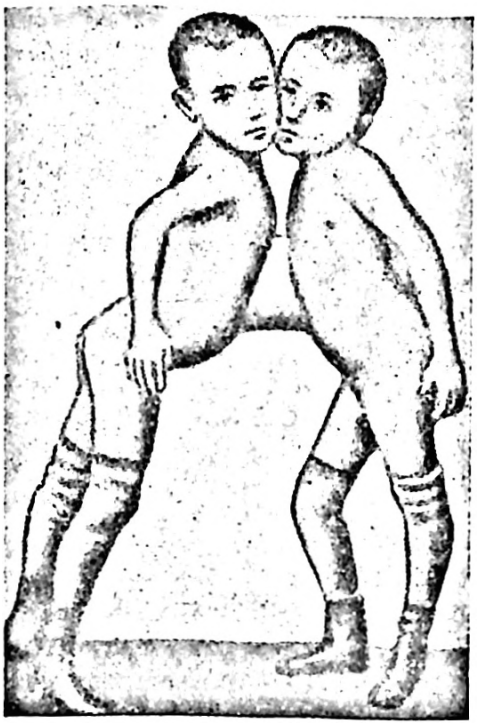


FIG. 62. Gemelos unidos por la región pectoral (toracófagos).

FIG. 62 a. Gemelos unidos; el segundo ser no ha alcanzado el desarrollo completo.

una vida independiente, alimentándose de la comida que obtiene del exterior y no de las reservas contenidas en el huevo.

Sería un error establecer una barrera entre el desarrollo posembrionario directo e indirecto, ya que entre uno y otro hay una serie de transiciones. Tampoco podemos decir que cada una de las formas de desarrollo posembrionario sea característica de determinados grupos sistemáticos. En realidad, dentro de un mismo grupo puede haber animales que se desarrollan por metamorfosis y sin ellas. Por ejemplo, en muchos gusanos ciliados tiene lugar la metamorfosis, pasando por un estado larvario llamado larva *de Müller*. En cambio, los turbelarios de agua dulce y otros habitantes del mar se desarrollan directamente.

Es directo el desarrollo de todos los tenarios, oligoquetos, sanguijuelas, onicóforos, ciempiés (en parte de ellos se observa una anamorfosis o aumento del número de segmentos), reptiles, aves y mamíferos, parte de los turbelarios y peces y la mayoría de los arácnidos.

El desarrollo por metamorfosis está extraordinariamente extendido; es un fenómeno de adaptación, que se ha producido a lo largo del proceso evolutivo. Por regla general, *el desarrollo es directo en las formas cuyos huevos son ricos en deutoplasma y, por el contrario, es indirecto en los organismos que producen huevos pequeños, pobres en vitelo nutritivo.* Son una aparente excepción los mamíferos que ponen huevos de tamaño reducido, pero en ellos el embrión recibe los alimentos del organismo materno. La presencia de formas larvarias que se nutren por sí mismas permite aumentar la fecundidad y, por lo tanto, la supervivencia de las especies. Es interesante señalar que todos los gusanos parásitos, que producen una enorme cantidad de huevos, poseen al mismo tiempo formas larvarias.

Estadios o fases en el desarrollo de los animales.

Los organismos pasan en su desarrollo por una sucesión de fases que se observa tanto en los casos de metamorfosis como en los de desarrollo directo. Esta sucesión se refleja en la modificación a lo largo del ciclo de desarrollo individual de las relaciones entre el organismo y el medio en que vive. Los gusanos parásitos ofrecen ejemplos clarísimos de cambios de sus necesidades durante el ciclo vital.

El desarrollo de estas formas va acompañado de un cambio del medio de vida y, como caso particular, el de huéspedes, que pueden ser dos o más. Por ejemplo, para realizar su ciclo vital, el *Diphyllobothrium latum* (véase pág. 300) necesita primero del medio acuático. Después, sus formas larvarias deben pasar en estricto orden de sucesión por el ciclops y por los peces.

La última fase de su larva, el plerocercoide, puede desarrollarse únicamente en el organismo de determinadas especies de peces. A veces van a parar al organismo de otros peces (experimentalmente han sido introducidos en ranas); sin embargo, aunque allí permanecen vivos, no encuentran las condiciones necesarias para su desarrollo.

El botriocéfalo puede alcanzar la madurez sexual tan sólo si después de haber pasado las fases larvarias va a parar al intestino de su huésped definitivo, que pueden serlo únicamente determinadas especies de mamíferos.

Por lo tanto, *el botriocéfalo necesita en cada etapa de su desarrollo determinadas condiciones, en ausencia de las cuales se interrumpe el desarrollo.*

La larva del *Ascaris lumbricoides* (véase pág. 307) reacciona de distinta manera, en las diferentes etapas de su desarrollo, ante los factores del medio exterior, principalmente ante el oxígeno. Al principio, su respiración es aerobia; más adelante, después de haber emigrado por conducto sanguíneo y de ser ingerida por segunda vez, pasa al nuevo estadio de desarrollo, terminando el ciclo en las conliciones anacrobias del intestino del huésped.

Los insectos y, entre los vertebrados, los anfibios ofrecen numerosos ejemplos de cambios de necesidades y de mudanzas del medio en que viven a lo largo de su desarrollo individual.

El organismo de los animales superiores, y sobre todo del hombre, presenta un sistema nervioso altamente desarrollado y una gran cantidad de sistemas muy complejos de órganos, gracias a lo cual sus relaciones con el medio son *más complicadas y menos directas.*

Sin embargo, no cabe la menor duda de que el organismo del niño se diferencia *cualitativamente* del organismo de los jóvenes, del hombre adulto y de los ancianos. Todos estos períodos de desarrollo individual del organismo tienen diferentes necesidades y se caracterizan por sus distintas relaciones, tanto dentro del organismo como con el medio exterior. Varía el carácter del metabolismo, así como la reactividad del organismo.

Las edades de transición en la vida de los animales y del hombre se deben, particularmente, a cambios en la actividad del sistema endocrino. El papel que en los cambios experimentados por el organismo en relación con la edad desempeñan los factores hormonales, ha sido estudiado con bastante detalle.

Las hormonas proceden, según sabemos, de las *glándulas endocrinas* (glándulas de secreción interna), que las vierten en la sangre. Todos los órganos y partes del cuerpo del animal segregan unos u otros productos de su actividad vital, que van a parar después a la sangre y circulan por el cuerpo. Estos productos, más o menos específicos, desempeñan un importante cometido en el funcionamiento normal del organismo. Sin embargo, algunos órganos han sido más estudiados y su papel en este sentido se conoce mejor. La actividad de secreción interna de las hormonas constituye su función principal. A diferencia de las glándulas de secreción externa, las de secreción interna carecen de canales excretores.

Papel de las glándulas endocrinas en los procesos de desarrollo del organismo

Los vertebrados tienen los siguientes órganos endócrinos: la *epífisis o glándula pineal,* situada en la parte dorsal del dielencéfalo, muy por debajo de los hemisferios cerebrales. En la base del cerebro, en la silla turca del esfenoides, se halla la *glándula pituitaria* o *hipófisis.* El emplazamiento de la tercera glándula de secreción interna, el *tiroides,* varía mucho en los diferentes animales. Los mamíferos y el hombre lo tienen en la parte central del cuello, próxima a la garganta y delante de la sección superior de la tráquea; las aves, cerca de la base de los bronquios, etc. Intimamente relacionada con la glándula tiroides están las *paratiroides,* que frecuentemente aparecen incrustadas dentro del tejido del tiroides. El *timo* es otra glándula que tienen los mamíferos en la cavidad torácica (en otros animales se halla en diferente lugar). En el espesor del tejido del páncreas se

encuentran los llamados *islotes de Langerhans*, que realizan una función de secreción interna. Encima de los riñones se hallan las *cápsulas suprarrenales*. Finalmente, realizan también una función endocrina las *glándulas sexuales* o gónadas.

Sin detenernos en el examen de todas las glándulas de secreción interna, estudiaremos únicamente aquellas cuya actividad se revela con mayor claridad en determinadas etapas de la ontogénesis y desempeñan una importante función en los procesos de desarrollo del organismo. Por ejemplo, parece ser que corresponde un gran papel en los organismos jóvenes al *timo* y a la *epífisis*. Aunque las funciones de estas glándulas no han sido estudiadas aún lo suficiente, se ha logrado establecer con seguridad que ambas actúan solamente en los *animales jóvenes*. El timo se atrofia cuando llega la madurez sexual (en la castración esto no tiene lugar). Los renacuajos alimentados con el tejido de esta glándula *crecen rápidamente* y alcanzan gran tamaño, pero no hay metamorfosis, es decir, *se retrasan los procesos de desarrollo*.

En las publicaciones médicas se citan casos de temprana madurez sexual en niños con lesión patológica de la epífisis.

Otras glándulas de secreción interna juegan también diferente papel funcional en los distintos períodos del desarrollo individual. La extirpación en los animales jóvenes del tiroides origina cambios más bruscos que en los de mayor edad, y generalmente produce la muerte. Algunos animales (conejos, perros, cabras) interrumpen su crecimiento al serles extirpada esta glándula. Además, se puede observar un cambio en las proporciones normales: las extremidades quedan relativamente cortas. La temperatura del cuerpo desciende, el cabello crece peor, el sistema nervioso central presenta síntomas de trastornos, que se reflejan en una disminución de la actividad nerviosa superior.

Alimentando los renacuajos *con glándula tiroides* o añadiendo al agua en que viven un preparado seco de ella, *se acelera la metamorfosis* notablemente.

Del tejido del tiroides se ha logrado extraer *la tiroxina*, hormona que rige su funcionamiento. Las moléculas de esta compleja materia albuminoidea contienen yodo. Los experimentos demuestran que si se añade yodo al medio en que viven los renacuajos, puede acelerarse su metamorfosis.

Los trastornos funcionales del tiroides producen en la persona graves desequilibrios.

Por ejemplo, en el bocio endémico, enfermedad que se presenta en determinados lugares, generalmente montañosos (Alpes, Cárpatos, Pirineos, Cáucaso, etc.), se produce una detención del desarrollo, el enanismo, la hinchazón de los tegumentos del cuerpo o mixedema, la disminución de la actividad mental y, en muchos casos, la sordomudez. Actualmente sabemos que esta enfermedad, el hipotiroidismo, se debe en primer lugar a la insuficiencia de sales de yodo en el agua potable. Una buena medida profiláctica para evitar el bocio consiste en añadir a la comida una pequeña cantidad de sales de yodo, por ejemplo, de 10 a 15 gr. de yoduro potásico en una tonelada de sal común. Otros factores causantes del bocio son el hipertiroidismo maligno, la presencia de tripanosomas, etc., aunque en estos casos no se presenta en forma epidémica.

El *hipertiroidismo*, es decir, el exceso de producción de la hormona tirotropa, origina en el hombre la enfermedad de Basedow. Los síntomas son un aumento de metabolismo, causa de un adelgazamiento progresivo, y una gran excitabilidad del sistema nervioso. Los enfermos presentan ojos saltones (exoftalmia) y una taquicardia típica.

Si se suministra a las aves tiroxina o se les alimenta con glándula tiroides, la muda se produce en cualquier época del año. Es posible que la muda periódica, que tiene lugar en otoño, esté relacionada con cambios cíclicos en la actividad del tiroides. La *hipófisis* desempeña un importante papel en el crecimiento y desarrollo de los animales. Las hormonas influyen en el crecimiento del cuerpo, en el desarrollo y funcionamiento de las glándulas sexuales y en otras funciones del organismo.

La *extirpación de la hipófisis* en los renacuajos *interrumpe el crecimiento y la metamorfosis.* En las ranas adultas se suspende el desove. Esta operación, realizada en mamíferos jóvenes (perros, ratas), produce un retraso del crecimiento y el infantilismo, debido a la atrofia de las glándulas sexuales. Los animales conservan los dientes de leche y la pelusa que cubre su cuerpo. Se observa al mismo tiempo una acumulación de grasa, que puede alcanzar la tercera parte del peso total.

El trasplante de hipófisis a renacuajos o a larvas del ajolote acelera el crecimiento, dando como resultado el gigantismo, fenómeno que también se observa en las ratas. Si, por ejemplo, los animales testigos pesan 250 gr., el peso de los utilizados para realizar el experimento alcanza 600 gr.

Cuando a los animales adultos se les suministra hormona de la pituitaria o se les trasplanta la glándula, se acelera la maduración de los productos sexuales, lo que da lugar al celo en los mamíferos y anfibios y al desove en los peces.

El exceso funcional de la hipófisis produce en el hombre el gigantismo. La hiperfunción de la antehipófisis origina la enfermedad llamada *acromegalia* (del griego *akras,* extremo, y *megali,* grande), consistente en el desarrollo exagerado de ciertas partes del cuerpo (especialmente los huesos de la cara y las extremidades). La hiperfunción de la hipófisis va acompañada de una maduración sexual temprana, que puede transformarse en impotencia. La hipofunción trae consigo una disminución del crecimiento. Sin embargo, a diferencia de los enanos por hipotiroidismo, los enanos hipofisarios presentan un desarrollo intelectual normal.

Las *glándulas genitales* o gónadas adquieren singular importancia en el período de madurez sexual. Además de su función esencial, crear células sexuales, las gónadas masculinas y femeninas producen hormonas sexuales, a cuya presencia se debe el desarrollo de los rasgos exteriores y del comportamiento característico del macho o de la hembra, es decir, los *caracteres sexuales secundarios.*

A la influencia de la hormona sexual se debe el plumaje nupcial de las aves y los diferentes colores que con este motivo toman los peces y algunos anfibios, así como la diferencia de colores que ofrecen los machos y las hembras de ciertos mamíferos. Para convencerse de que estos caracteres se deben a la actividad de las hormonas sexuales basta recurrir a experimentos de castración[1]. Los mejores resultados se obtienen con las aves. Los experimentos llevados a cabo por científicos soviéticos (M. M. Zavadovski) demuestran que si a un gallo se le extirpan los testículos (la operación conviene efectuarla con polluelos), el capón crece sin cresta ni carúnculas, y varía la forma de su cola. El gallo pierde sus instintos sexuales, no "corteja" a las gallinas, deja de cacarear. Cuando se extirpa el ovario a una

[1] La castración es la extirpación de las glándulas genitales mediante intervención quirúrgica o bien su eliminación como resultado de algún proceso patológico.

gallina, le desaparece el plumaje característico, adquiriendo el colorido típico del gallo; se le pueden incluso desarrollar espolones.

De lo dicho se deduce que es posible distinguir *caracteres sexuales falsos y verdaderos*. Los primeros, como son el plumaje y los espolones del gallo, sólo aparentemente son exclusivos de uno de los sexos: en realidad, son típicos de los seres castrados, asexuales. La función del ovario se reduce a evitar su aparición. Los caracteres sexuales verdaderos dependen íntimamente de las hormonas sexuales (desarrollo de las carúnculas y la cresta, forma de la cola, etc.).

Si se trasplantan ovarios a los capones, éstos mostrarán el plumaje de las gallinas, así como sus instintos característicos. Se dice que las gallinas se masculinizan cuando después de castradas se les trasplantan testículos. En tal caso adquieren gran desarrollo la cresta y las carúnculas. El cuerpo toma el empaque del gallo, su plumaje. Semejantes gallinas muestran los instintos de los gallos, cantan como ellos, etc. Es interesante señalar que, a veces, las gallinas castradas se masculinizan sin necesidad de trasplante de testículos; esto se debe a que en las aves, normalmente, se desarrolla tan sólo el ovario izquierdo, mientras que el derecho se reduce. Después de la castración y de extirpar el ovario izquierdo, el rudimento de la segunda gónada comienza a desarrollarse en forma de testículo, produciendo la hormona sexual masculina, que es la que ejerce su influencia. Así se explica el fenómeno que se observa a veces entre las gallinas viejas, a las que les crecen el ornamento del gallo y que comienzan a cantar como él. En la vejez, el ovario izquierdo degenera, convirtiéndose en testículo el rudimento de la glándula genital derecha.

Los hombres castrados sufren una serie de cambios; la conformación de su cuerpo se asemeja al de la mujer: acumulación de grasa en el pecho y las caderas, distribución del pelo según el tipo femenino, interrupción en el crecimiento del bigote, la barba, etc. Por lo tanto, los distintos caracteres sexuales secundarios masculinos se desarrollan por la acción de la hormona sexual masculina. Se han efectuado gran cantidad de experimentos con ratas, masculinizando hembras castradas y feminizando machos castrados, y también para comprobar la influencia de la castración. Estos experimentos han permitido obtener, lo mismo que en el caso de las aves, una "transformación" del sexo.

La castración de las ranas machos da lugar a la reducción de la callosidad en los dedos pulgares, uno de los caracteres sexuales secundarios más característicos. La castración de las lombrices de tierra origina la desaparición del clitelo, abultamiento que rodea su cuerpo y que cumple determinado papel en la cópula de estos animales. En los insectos, después de la castración, no se modifican los rasgos que caracterizan el dimorfismo sexual. Lo más probable es que aparezcan en las primeras fases de desarrollo.

Al hablar de las glándulas de secreción interna y de su importancia fisiológica no se debe olvidar en ningún momento que todas ellas están *íntimamente relacionadas entre sí* y que los cambios que se operan en una traen consigo trastornos en el funcionamiento de las restantes. Si bien la hipófisis influye en las gónadas, la hormona sexual actúa a su vez sobre la hipófisis. Con frecuencia, un mismo efecto fisiológico puede ser resultado de cambios acaecidos en diferentes órganos endocrinos. Pueden ser-

vir de ejemplo los casos de retraso de maduración sexual, el infantilismo. Este puede tener su origen en alteraciones en el desarrollo de las gónadas, en la hipofunción de la pituitaria, la insuficiencia de tiroxina en la sangre y finalmente modificaciones de las cápsulas suprarrenales. Todo ello demuestra las complejas relaciones que existen entre las glándulas de secreción interna. Al mismo tiempo, no podemos por menos de subrayar que *existe una estrecha relación entre los órganos endocrinos y el sistema nervioso, que desempeña en esta relación el papel fundamental.* La actividad del sistema nervioso de los órganos endócrinos depende a su vez de las condiciones de vida.

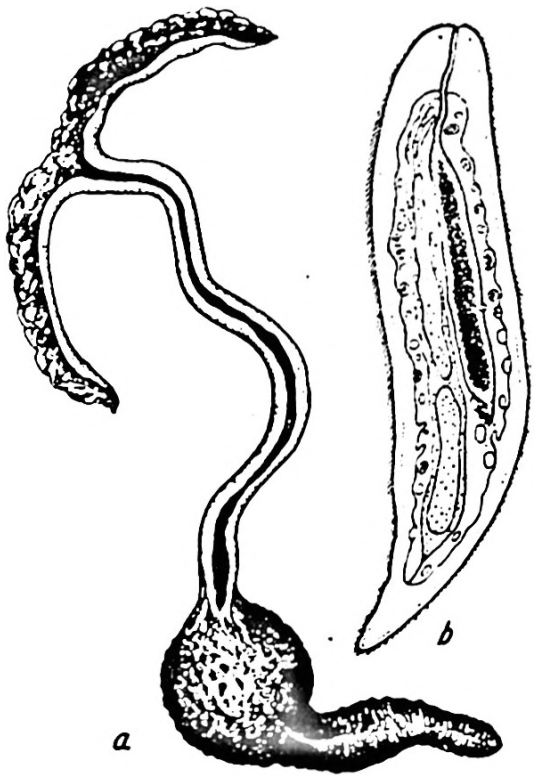


FIG. 63. *Bonellia*: *a*, hembra (tamaño reducido); *b*, macho (muy aumentado).

Diferenciación del sexo y relación numérica de los sexos en la descendencia.

El dimorfismo sexual va unido filogenéticamente a una etapa determinada de la reproducción sexual. En la ontogénesis de los vertebrados, las gónadas se forman a partir de la hoja parietal del mesodermo, *de modo similar para ambos sexos.* Los órganos sexuales internos y exteriores derivan de unos mismos esbozos organógenos.

El desarrollo de los rasgos característicos de uno u otro sexo pueden determinarlo las condiciones en que crece el organismo. Ejemplo convincente de ello lo ofrece el gusano marino *Bonellia* (fig. 63). La hembra es voluminosa y tiene una trompa muy larga, mientras que el macho es extraordinariamente diminuto y vive en el interior de aquélla. De los huevos fecundados salen larvas que no se diferencian desde el punto de vista sexual. Si la larva se fija en la trompa de la hembra, bajo la acción de los productos del metabolismo de ésta, se convertirá al poco tiempo en macho; si separamos una de las larvas que se encuentran en la trompa antes de haber terminado su desarrollo, acabará en hermafrodita. Las larvas que se desarrollan libremente se transforman en hembras.

Pueden también servir de ejemplo de modificación del sexo los gusanos segmentados (*Ophrytrocha*). Si a uno de ellos le cortamos una parte del cuerpo, el ovario se reabsorberá, desarrollándose en su lugar testículos.

La influencia del medio en la diferenciación sexual de los organismos puede ilustrarse con muchos ejemplos del mundo vegetal. Por ejemplo, el cambio del régimen de luz y alimentación permite modificar el sexo del cáñamo (*Cannabis sativa*). El carácter de la alimentación mineral, la humedad y la composición gaseosa del medio son también factores que determinan el género de las flores del maíz y la calabaza. La fumigación

de los pepinos (acción del óxido de carbono) modifica la relación entre las flores masculinas y femeninas de 1:1 a 1:10.

Los animales superiores son sexualmente dimorfos, la diferenciación del sexo se verifica al principio de su desarrollo embrionario. Sin embargo, las anomalías embriogénicas pueden dar origen a veces a un *seudohermafroditismo*, e incluso a un *hermafroditismo*. En el seudohermafroditismo, la estructura de los órganos sexuales exteriores no corresponde a la de las gónadas. Por ejemplo, los órganos sexuales exteriores son femeninos y las gónadas masculinas. El niño se educa como una chica, pero al madurar sexualmente da muestras de emociones que son características de los niños.

El verdadero hermafroditismo se caracteriza por la presencia en un mismo individuo de gónadas masculinas y femeninas. Los ejemplos de verdadero hermafroditismo son muy raros entre los animales vertebrados. En el hombre han sido descritos tan sólo unos cuantos casos de verdadero hermafroditismo.

La relación de sexos en la descendencia se ha establecido filogenéticamente para los diferentes sexos de acuerdo con las condiciones de existencia de las distintas especies. Para muchos animales esta relación se aproxima a 1:1. Por ejemplo, de cada 100 hembras que nacen corresponden en las ovejas 98 machos; en los cerdos, 112; en las palomas, 115. En el hombre, a cada 100 niñas corresponden 105 niños. Sin embargo, en algunas formas animales se han observado grandes modificaciones en uno u otro sentido. Por ejemplo, en los vencejos, hay 500 machos para cada 100 hembras; en los diablos marinos (peces), 385; en los calamares, 17, y en la araña *Lectodestes*, 819. Esta desproporción se debe, al parecer, a la destrucción preferente que a lo largo de la historia han sufrido en las distintas especies los representantes de uno de los sexos.

Por ejemplo, durante la época de celo en las arañas, las hembras, que son muy voraces y de gran ferocidad, dan muerte a gran cantidad de machos; de ahí que la abundancia de machos pueda explicarse como una adaptación de la especie, alcanzada en el proceso de la selección natural.

Los partidarios de la teoría de Mendel-Morgan consideraban que el sexo venía determinado por la presencia de cromosomas X en una mitad de los espermatozoides y de cromosomas Y en la otra mitad.

Las desviaciones que en la relación de sexos ofrecen diferentes formas o bien no eran tenidas en cuenta o se recurría para explicarlas a hipótesis complementarias sobre la muerte preferente de uno u otro sexo en el proceso de desarrollo embrionario.

Se intentó (en los mamíferos) establecer diferencias morfológicas entre los espermatozoides X e Y. Sin embargo, las pruebas realizadas no han confirmado los datos obtenidos (V. V. Majovko).

La centrifugación del esperma, seguida de inseminación artificial, tampoco da resultado (no varía la relación de sexos en los descendientes). Lo mismo puede decirse de los trabajos que señalan la existencia de diferencias físico-químicas entre los supuestos grupos de espermatozoides mediante su separación en el campo eléctrico. Como lo muestran los trabajos realizados por V. Majovko, esta separación depende únicamente de su diferente grado de vitalidad.

Hace ya tiempo se había observado que el empeoramiento de alimen-

tación en los animales domésticos trae consigo un aumento del número de machos entre las crías.

Según datos de R. Hertwig, las huevas de rana mantenidas a baja temperatura proporcionan cerca del 75 por ciento de machos, y sólo un 25 de hembras, mientras que cuando la temperatura es corriente la relación de sexos es aproximadamente de 1:1. Los experimentos señalan también que el sexo de los descendientes depende de la cantidad de agua contenida en los huevos. Actuando con medios que absorban el agua se puede modificar la relación de sexos. Por lo tanto, el sexo del organismo en desarrollo depende en alto grado de las condiciones exteriores y del estado de las células sexuales. I. V. Michurin decía que la única causa de la diferenciación sexual de las plantas radica en las diferencias entre el vigor individual de las células sexuales de ambos reproductores en el momento de la fecundación. En el caso de que la fuerza reproductora del vegetal masculino sea mayor que la del femenino, los descendientes serán del sexo masculino, y viceversa. Según Michurin, este fenómeno tiene vigencia en el reino animal.

Son numerosos los datos que corroboran la tesis de Michurin de que el sexo de los descendientes depende de la relación de fuerzas entre los gametos masculinos y femeninos.

O. Kushakévich ha realizado experimentos con ranas, logrando demostrar la dependencia del sexo respecto del estado en que se hallan los gametos en el momento de la fecundación. Las huevas fueron fecundadas artificialmente en diferentes fechas, y cuanto más tarde se llevaba a cabo la operación mayor era el número de machos obtenidos de cada lote de huevas. Manteniendo las huevas más tiempo del normal antes de realizar la fecundación, Kushakévich ha llegado a obtener hasta el 100 por ciento de machos.

Los resultados obtenidos por V. Majovko (1938), mediante la fecundación artificial de conejas con esperma inactivo por haber sido expuesto a la acción de un campo de alta frecuencia, pueden atribuirse al diferente estado de los gametos en el momento de la fecundación. Estos experimentos daban una media de 80 por ciento de hembras. En este caso, predominaba en los descendientes el sexo de la madre, ya que sus gametos no habían sido objeto de una acción perjudicial y poseían una vitalidad mayor que los gametos masculinos.

La influencia en el sexo del estado de los gametos la confirman también otros investigadores. En los cerdos y conejos los espermatozoides se debilitan si se les introduce en los canales sexuales de las hembras mucho antes de la ovulación. La maduración excesiva de los huevos se alcanza cubriendo las hembras al principio con machos que tengan ligados los conductos eyaculadores, con lo que se realiza la ovulación, sin que, como es natural, haya fecundación. La inseminación es verifica a diferentes intervalos a contar desde la primera vez que el macho cubre a la hembra. En este caso el número de machos en la descendencia aumenta en 2 ½ veces en comparación con el nivel normal.

En el zorro plateado que se cría en los sovjoses soviéticos, se observó, basándose en el análisis de 1962 y crías entregadas (9256), que el sexo depende directamente del conjunto de condiciones del medio exterior. Se advirtió la existencia de determinados períodos en la vida de los machos y las hembras, durante los cuales estas últimas dan muestras de facultades

máximas y mínimas para transmitir por herencia su sexo a los descendientes. A medida que las hembras se van haciendo mayores aumenta esta fuerza de transmisión hereditaria, la cual alcanza el máximo en el cuarto año de vida. Conforme envejecen, las hembras disminuyen. Para los machos, la fuerza de la transmisión hereditaria aumenta con la edad.

Son semejantes los resultados obtenidos al analizar la descendencia de los cerdos. Entre 100 hembras, las de un año de edad dan 114 machos; las de dos años, 110; las de tres, 104, y las de cinco y seis, 120. En lo que respecta a los machos, la descendencia de los cerdos de un año es de 117 machos por cada 100 hembras; de 106 para los de dos años y de 118 machos para los de más edad.

Se ha comprobado también que las hembras con un metabolismo más intenso dan más hembras que machos.

Por lo tanto, la descendencia puede ser dirigida partiendo de la teoría michurinista.

Estas investigaciones nos muestran procedimientos reales para dirigir la herencia del sexo, mediante la acertada elección de las parejas de progenitores.

REGENERACION DE LAS PARTES PERDIDAS

La formación de las partes perdidas se conoce de ordinario con el nombre de *regeneración*. Ahora bien, este término se emplea también corrientemente para denominar los fenómenos de reconstitución por partes de organismos completos, es decir, de procesos semejantes y acaso idénticos a la reproducción asexual. Darwin decía que la reproducción asexual, la facultad de regeneración y la de desarrollo no son más que partes de una misma gran ley.

El estudio de los fenómenos de regeneración ofrece gran interés para la Medicina; desde la cicatrización del arañazo más insignificante hasta cuestiones tan complejas como el restablecimiento de las funciones de los órganos después de un traumatismo y la rotura de un nervio, figuran en este plano. La Medicina ha de llegar a dominar y dirigir los procesos de regeneración. En la actualidad, gran número de investigadores estudian el curso y las leyes que rigen dichos procesos. Muchos biólogos rusos conocidos han trabajado en esta rama de la ciencia. Es precisamente el patólogo ruso V. V. Podvisotski el autor de la teoría sobre la regeneración de los órganos internos.

Regeneración fisiológica y reparativa.

Existen dos clases de regeneración: la *fisiológica* y la *reparativa*.

Se llama regeneración fisiológica a la reconstitución de partes que se han desgastado a lo largo del proceso vital normal. Por ejemplo, de la superficie de la piel se desprenden constantemente células queratinizadas, cuya pérdida se compensa con la reproducción de células en las capas profundas de la epidermis. Un proceso semejante, aunque simultáneo, es el de la muda de los reptiles; las serpientes, por ejemplo. Pero no sólo se desgastan las partes superficiales del organismo; lo mismo ocurre a las células de los órganos internos, que son sustituidas por células más jóve-

nes. Se regeneran los colmillos de los roedores, que se desgastan constantemente. Es más, si se interrumpe el desgaste, su crecimiento llegará al extremo de dañar las paredes de la cavidad bucal. Se considera también un ejemplo de regeneración fisiológica la sustitución de los dientes de leche por los definitivos, que se observa en los mamíferos y en el hombre.

Los cambios cíclicos acompañados de desprendimiento de tejidos y de profundas transformaciones en la mucosa uterina o endometrio en el ciclo menstrual, permiten colocar este fenómeno en el límite entre la regeneración fisiológica y la reparativa. Durante la menstruación se desprende toda la mucosa junto con la capa epitelial, vasos, glándulas y estroma conjuntivo. Después de la menstruación, todas estas partes se regeneran, partiendo de las porciones de glándulas uterinas que quedaron.

La capacidad de regeneración reparativa, es decir, la reconstitución de partes perdidas a causa de una lesión, está muy extendida. Esta capacidad, que constituye un procedimiento de adaptación, es debido a la selección natural.

Capacidad de regeneración de los órganos en los animales.

Si dividimos ciertos *infusorios* en varias decenas de partes, cada una de ellas reconstituirá un organismo completo. Así es como se regenera la 1/27 parte del *Stentor* y la 1/61 parte del *Spirostomun*. Las *esponjas* poseen una capacidad de regeneración muy grande. Podemos pasar el cuerpo de las esponjas marinas y de agua dulce por una gasa de seda, y la masa resultante volverá a originar esponjas. La hidra, metazoo inferior del tipo de los *celentéreos,* es el animal clásico utilizado en los experimentos de regeneración. Debe su nombre al monstruo mitológico del lago de Lerna, al que por cada cabeza cortada le renacían dos, y al que Hércules dio muerte. La hidra puede ser dividida en doscientas partes y cada una de ellas regenerará un organismo nuevo.

Entre los *gusanos,* las planarias son las que gozan de mayor capacidad de regeneración. El organismo se reconstituye íntegramente con sólo 1/279 parte del cuerpo del animal. Una planaria fue sometida al siguiente experimento: se partió el gusanos en diez fragmentos, que después de regenerados volvieron a ser divididos, y así sucesivamente hasta obtener planarias microscópicas, cuyo volumen equivalía a 1/4500 del individuo primitivo.

Estos experimentos realizados con hidras y planarias son ejemplos de regeneración de organismos completos a expensas de partes del cuerpo, es decir, ejemplos de reproducción asexual.

Muchos *anélidos* regeneran muy bien las partes perdidas.

Los *artrópodos,* protegidos por una capa de quitina, regeneran principalmente los ojos y las extremidades.

Los *moluscos* regeneran fácilmente ciertos apéndices, como son los sifones. Los cefalópodos pueden regenerar los tentáculos. Las demás partes del cuerpo (cabeza, ojos) se regeneran muy poco.

Gozan de gran capacidad regenerativa la mayoría de los *equinodermos.* A las estrellas de mar, por ejemplo, les vuelven a crecer los brazos perdidos. Incluso un brazo separado del cuerpo es capaz de reproducir un individuo entero.

Cuando la holoturia se ve perseguida, realiza una fuerte contracción muscular, debido a lo cual se desgarran las paredes del cuerpo alrededor

del orificio anal, expulsando después las vísceras. Al cabo de unos días se regeneran los órganos perdidos.

Una serie de *peces* y *anfibios urodelos* regeneran las extremidades y la cola.

Algunos *reptiles* (las lagartijas) pueden regenerar la cola; las *aves,* el pico. Los *mamíferos* reproducen los tegumentos dañados. Cuando tienen periostio regeneran con bastante facilidad los huesos. Se ha podido observar que si se extrae un hueso por completo, dejando intacto el periostio, el hueso se reproduce, con la particularidad de que tendrá los mismos detalles anatómicos (superficies de articulación, crestas, cóndilos) característicos del hueso correspondiente: húmero, fémur, etc. Se regeneran con mucha mayor dificultad los músculos; eso se debe probablemente al desarrollo más intenso que se opera en los tejidos conjuntivos, originando una cicatriz que los músculos no son capaces de atravesar.

V. Podvisotski ha sido el primero en demostrar la posibilidad de regeneración en los mamíferos de un órgano como el hígado. También pueden regenerar el páncreas, el bazo, etc.

En el hombre se ha observado asimismo la regeneración de algunos órganos. Por ejemplo, después de extirpar el hígado invadido de equinococos, la parte que quedaba aumentó hasta llegar a alcanzar el tamaño del órgano completo. Es extraordinaria la regeneración de los ovarios en las mujeres. En algunos casos, cuando se creía haberlos extirpado completamente y únicamente podían haber quedado diminutos fragmentos, éstos se regeneraron hasta un estado morfológico y funcional capaz de producir un normal embarazo.

Se reconstituyen muy bien las *fibras nerviosas.* Para ello es necesario únicamente asegurar la presencia de un "conductor", a lo largo del cual pueda efectuarse el crecimiento de los tejidos que se reproducen. Este papel pueden desempeñarlo los nervios de los animales incluso fijados con formalina. Si se cose entre dos fracciones de nervio un trozo de ese nervio muerto, los tejidos nerviosos que han de regenerar crecen perfectamente y al cabo de algún tiempo la extremidad inmóvil vuelve a recobrar el movimiento.

Se halla extendida la opinión de que las facultades regenerativas disminuyen a medida que aumenta el grado de organización de los animales, aunque no hay razones para hablar de una ley general en este sentido. Dentro del mismo grupo de animales se encuentran casos de grande y y pequeña capacidad regenerativa. Por ejemplo, muchos gusanos reproducen con facilidad las partes perdidas, pero, en cambio, los gusanos parásitos (trematodos y nematelmintos) carecen por completo de esta propiedad y a la menor lesión mueren. Los oligoquetos se regeneran fácilmente; las sanguijuelas, por el contrario, no pueden hacerlo. Los hidroides (celentéreos) son clásicos en el estudio de la regeneración; en cambio, las medusas y los tenarios mueren al ser cortados.

Los ejemplos podrían multiplicarse. Por eso no hay razón para afirmar que con la mayor organización de los animales disminuye su capacidad regenerativa. La capacidad de regeneración de unas u otras especies se ha creado históricamente; *depende de las condiciones de vida, de la frecuencia con que se lesione tal o cual organismo, tal o cual parte de él.* Por ejemplo, los moluscos que se ocultan en la tierra, dejan fuera los sifones, de los cuales se apoderan enemigos; por lo tanto, los sifones se lesionan

con frecuencia y al mismo tiempo se regeneran fácilmente. La facilidad con que se reproducen los brazos de las estrellas de mar y las extremidades de los insectos pueden explicarse de igual forma. Junto a ello, los gusanos parásitos rara vez son objeto de lesiones traumáticas, y por eso es escasa en ellos la capacidad regenerativa. Las condiciones de vida son las que determinan la facultad de los tritones para regenerar las extremidades, las mandíbulas, etc., y la ausencia de regeneración en las ranas. Durante el período de celo los tritones entablan frecuentes luchas, arrancándose uno u otro órgano. Las ranas, sin embargo, pierden las patas con poca frecuencia, y por eso la selección no ha desarrollado en ellas la capacidad regenerativa. Los renacuajos, que infestan los estanques, se atascan frecuentemente perdiendo la cola, las patas, las branquias, órganos que les vuelven a crecer con facilidad hasta que no termina la metamorfosis y las pequeñas ranas cambian su género de vida.

Muchos organismos, capaces de regenerarse, han desarrollado la facultad de la *autotomía*, es decir, de desprenderse espontáneamente de una parte de su cuerpo. Esto guarda relación con dispositivos anatómicos y fisiológicos muy complejos. Un ejemplo de autotomía nos lo ofrecen las holoturias, de que hablábamos más arriba, capaces de desprenderse de las vísceras. La autotomía la encontramos también en las lagartijas, que pueden desprenderse voluntariamente de su cola, cuando ésta se halla entre los dientes o garras de un enemigo. Para hacer posible la autotomía la selección tuvo que crear la estructura anatómica correspondiente y elaborar el reflejo necesario. El rompimiento siempre tiene lugar por la mitad de una vértebra, que posee como dos partes: los músculos no van a lo largo de la cola, sino que están dispuestos en forma de anillos insertos unos en otros. Cuando la lagartija se ve prendida por la cola, la rompe mediante movimientos laterales. Se trata del reflejo a un estímulo doloroso.

Se poseen datos acerca de que dentro de un mismo organismo *los órganos más especializados se regeneran con mayor dificultad* o no se regeneran, mientras que las partes del organismo menos especializadas gozan completamente de esta capacidad. Por ejemplo, la última pareja de patas del saltamontes, que se ha transformado en un órgano que le sirve para saltar, carece de la facultad regenerativa que poseen los dos pares anteriores.

Por último, se advierte una debilitación de la capacidad regenerativa a medida que la edad aumenta. Cuando el organismo adulto termina su crecimiento, ve limitada su capacidad de regenerar las partes perdidas.

Los vegetales gozan de una gran capacidad regenerativa, que en este caso no puede separarse de la reproducción vegetativa. En plantas como el álamo, el sauce, etc., de un esqueje crece un árbol completo. Un ejemplo claro de capacidad regenerativa lo ofrece la begonia: de una hoja suya nacen nuevas plantas.

Formas de regeneración.

¿Es obligatoria la regeneración de la parte o el órgano suprimido? En la mayoría de los casos eso es precisamente lo que sucede; en lugar de una pata perdida crece otra, en lugar de la cola otra cola, etc. Semejante regeneración se conoce con el nombre de *homomorfosis*. Pero también se encuentra muy extendida la *heteromorfosis*, que consiste en la formación,

en lugar del órgano desaparecido, de otro que en ese sitio y en condiciones normales no se desarrolla. Por ejemplo, la rama de sauce da raíces. En los cangrejos es frecuente que en el lugar que ocupaba un ojo amputado se forme una antena (fig. 64). Si a una planaria se le separa la cabeza exactamente por detrás de los ojos, crecerá una segunda cabeza en lugar del cuerpo.

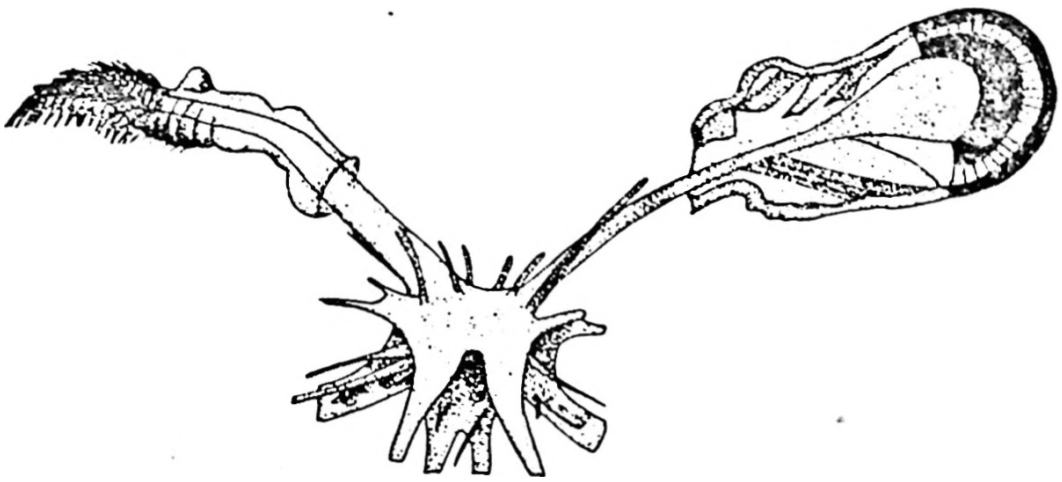


Fig. 64. Regeneración en un crustáceo de una antena en el lugar que ocupaba el ojo izquierdo extraído.

El ejemplo citado del cangrejo al que le crece una antena en lugar del ojo es un caso de *regeneración atávica,* ya que filogenéticamente el ojo de los crustáceos no es más que una antena transformada. Fenómenos de atavismo se observan también en las lagartijas al regenerarse la cola, pues las escamas adquieren los rasgos de una estructura más primitiva, característica de los antecesores de las actuales lagartijas. En los reptiles, al aparecer una nueva cola, se produce además otro fenómeno: se simplifica la estructura anatómica del órgano regenerado. En lugar de vértebras aisladas puede llegar a formarse toda una varilla ósea.

Por último, en el lugar que ocupaba el órgano eliminado, pueden formarse dos o más nuevos. Este fenómeno, que se observa en las heridas grandes, se llama *regeneración hipertípica.* A las lombrices de tierra, por ejemplo, les crecen dos o tres cabezas en lugar de una, y dos o tres colas en vez de una sola (fig. 65). Es fácil obtener en las planarias decenas de segmentos cefálicos en lugar del lesionado. La naturaleza presenta a veces semejantes ejemplares, lo mismo que lagartijas con dos colas. N. V. Nasónov alcanzó, en experimentos con anfibios, extraordinarios resultados (fig. 66), obteniendo en lugar de una pata todo un "racimo" de ellas (cinco y seis).

Marcha de la regeneración.

¿Cómo se verifica el proceso de reconstitución de las partes perdidas? Generalmente transcurre de modo semejante a la formación de dicho órgano durante la embriogenia. Al principio, la herida se cubre de epi-

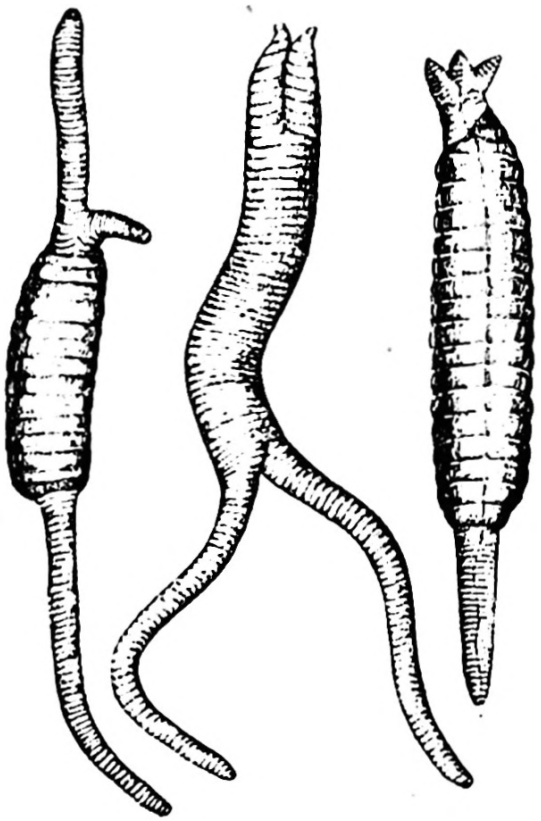


FIG. 65. Hipermorfosis en las lombrices de tierra.

telio, después se forma una *eminencia regenerativa,* en la que tienen lugar procesos de diferenciación celular; se forma un cartílago, que después se transforma en hueso; luego se originan los músculos. En la extremidad regenerada se insertan los nervios. Al mismo tiempo se operan los procesos de histogénesis, tie-

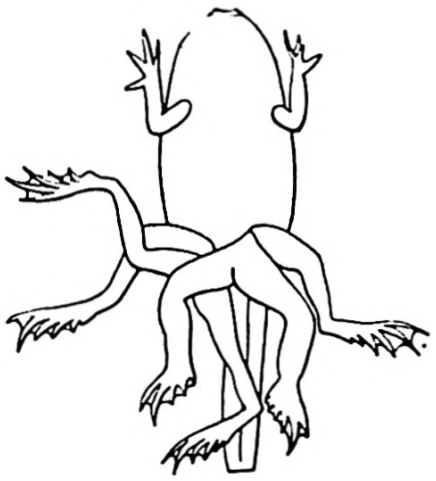


FIG. 66. Hipermorfosis en una rana.

ne lugar la formación de las partes anatómicas del miembro, aparecen rudimentos de dedos, etc. En última instancia, se origina una extremidad que no se diferencia en nada de la perdida (figura 67).

Sin embargo, no siempre se repite en la regeneración el proceso embrionario. Por ejemplo, cuando se extrae el cristalino del ojo, el nuevo no crece a partir del tegumento epitelial adyacente, sino de los bordes del iris, es decir, de los tejidos formados por el tubo nervioso. Si se toma un trocito de la capa branquial de la ascidia *Clavellina,* mediante una "refundición" de los tejidos se produce una *Clavellina* pequeña. Lo mismo sucede en los experimentos llevados a cabo con esponjas. Después de rallar el cuerpo de un individuo y de pasarlo a través de una gasa de seda, resulta una especie de puré, de cuya masa vuelve a formarse la esponja. Por lo tanto, en este caso no se dan las fases embrionarias características. Hasta ahora no se sabe con exactitud cómo transcurre semejante reagrupación del material. No cabe duda de que en el proceso regenerativo de las formas de organización más complicada corresponde un importante papel al sistema nervioso. Por ejemplo, en las lombrices de tierra la regeneración no se verifica al quedar destruído el sistema nervioso. Esto se observa también en los tritones: si se les extirpa la sección correspondiente de la médula espinal no hay regeneración de las extremidades perdidas. La acción del sistema nervioso se deja sentir también en la regeneración de los crustáceos. Si al extraer el ojo se lesiona o se corta el ganglio, en lugar del ojo crecerá una antena. Cuando se conserva el ganglio óptico, se regenera el ojo.

El problema de la dirección de los procesos regenerativos.

Es evidente la importancia de un procedimiento por el que se puedan dirigir los procesos de regeneración y superar la incapacidad del hombre y de los vertebrados superiores para producir los miembros perdidos. Ya N. I. Pirogov señaló la trascendencia que para los procesos de regeneración de los órganos tenía la sangre perdida en las operaciones. Durante la Gran Guerra Patria, los médicos soviéticos utilizaron con éxito compresas mojadas en sangre al objeto de estimular los procesos de cicatrización de las heridas. Pudo advertirse que los leucocitos pueden estimular la regeneración de los tejidos. No obstante, la capacidad regenerativa de los tejidos sigue siendo limitada. ¿Cómo elevarla? En este sentido no se ha pasado de los primeros experimentos, que, sin resolver ni mucho menos el problema, señalan la posibilidad de aumentar la capacidad regenerativa de aquellos organismos que en condiciones normales no la poseen.

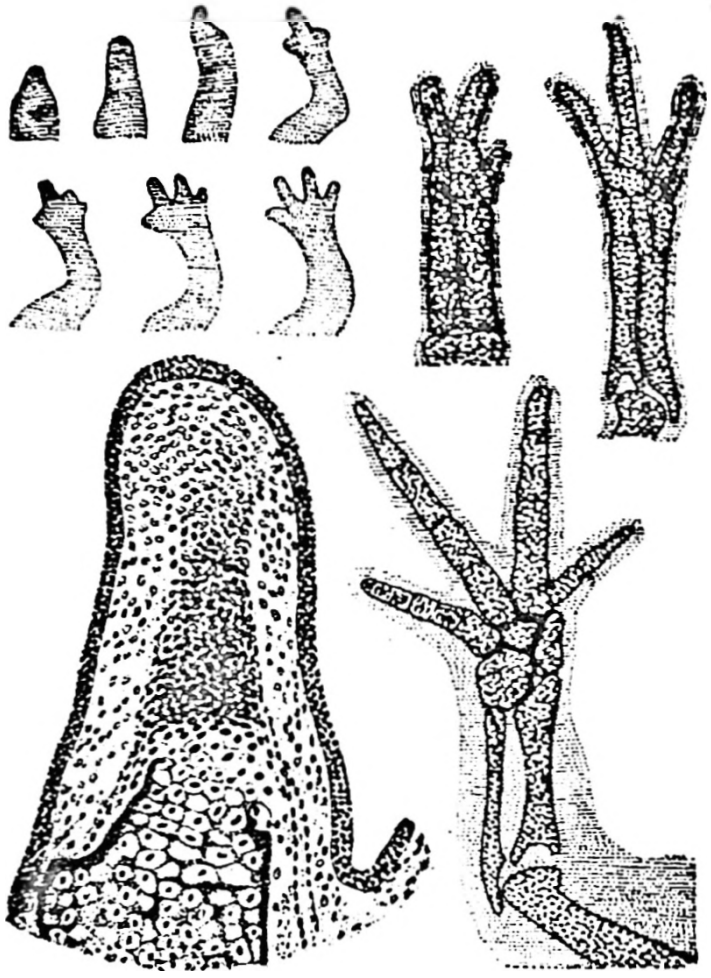


Fig. 67. Fases consecutivas de la regeneración de la pata de un tritón.

Los experimentos se han efectuado con ranas, incluso adultas. Colocando una rana con una pierna amputada en un medio artificial determinado se logra una regeneración del miembro, si bien muy imperfecta.

En el estudio de la regeneración hay un gran número de problemas por explicar que atraen la atención de muchos investigadores.

INJERTOS

Se conoce con el nombre de injerto al trasplante de órganos, tejidos o complejos de tejidos a otro organismo o a diferente lugar del mismo organismo del que se han tomado. Los injertos son muy comunes en Medicina. Basta decir que la cirugía regenerativa, que tan grandes éxitos ha logrado en la Unión Soviética, se basa en la amplia utilización de los injertos.

Este método se emplea en gran escala en la zoología experimental y la embriología. Al órgano o parte del mismo trasplantados se le da el nombre de *implantado;* el organismo que recibe el trasplante es el *portainjerto.*

Hay tres tipos fundamentales de injertos. El realizado en el mismo organismo se llama *autoplásitco.* Si el implantado y el portainjerto pertenecen a la misma especie se tratará de un injerto *homoplástico.* Finalmente, si la operación se realiza entre diferentes especies se tratará de un injerto *heteroplástico.*

En las operaciones plásticas se utiliza principalmente el injerto autoplástico. Para corregir, por ejemplo, los defectos de la cara, resultantes de una herida o quemadura, se coloca, en lugar de la parte afectada, piel del hombro o de otra parte del cuerpo. Para que la operación tenga éxito hay que proporcionarle alimentación al implantado y asegurar lo más completamente posible su vitalidad. Un gran paso en este sentido es el método del corte redondo, inventado por V. P. Filátov. Este gran médico propuso recortar una ancha tira de piel, cuyos bordes se cosen; los extremos mantienen el contacto con los tejidos contiguos. Al cabo de dos o tres semanas, se corta uno de los extremos junto con la parte de piel, que se traslada al lugar del defecto. En los casos en que la parte afectada es muy extensa o en sus proximidades no hay material para realizar el trasplante, se utiliza el corte "progresivo", es decir, que el trasplante no se realiza directamente al lugar de las heridas, sino que se va aproximando a él mediante una serie de trasplantes intermedios. En la actualidad, las operaciones plásticas permiten corregir defectos de la nariz, la oreja, el cuero cabelludo, etc. Gracias a este método se puede reconstruir el intestino recto, el esófago, la vagina, etc.

Los injertos homo y heteroplásticos también tienen aplicación en Medicina, aunque es más difícil que el tejido prenda (sobre todo en los casos de heteroplastia), y con frecuencia el implantado acaba por ser reabsorbido.

Filátov realizó trasplantes de la córnea del ojo de un cadáver, convenientemente preparada y conservada en frigorífico durante varios días.

El éxito de su operación lo atribuyó el famoso oculista al hecho de que el tejido del cuerpo que aún conserva la vitalidad, después de la muerte, moviliza todos sus recursos y segrega sustancias a las que él dio el nombre de bioestimuladores. por poseer la propiedad de estimular los procesos vitales. Semejante tejido prende con facilidad y funciona. La operación de Filátov la realizan sus numerosos discípulos en amplia escala. Gracias a ella en la Unión Soviética han recobrado la vista miles de personas.

Más tarde, Filátov recurrió para curar las cataratas al injerto de trozos minúsculos de córnea de cadáver, con lo que la córnea del ojo enfermo recobra la transparencia.

Son de gran interés los injertos de órganos enteros. Experimentos de este tipo se han realizado con diferentes animales. Por ejemplo, a un gobio le fueron trasplantados los ojos de un *Carassius,* que en cierto grado continuaron desempeñando la función de órganos de la vista. Se han trasplantado con éxito las patas de un tritón a otro, y también de otros animales. La ciencia soviética ha obtenido en los últimos tiempos grandes éxitos en el trasplante de un órgano tan importante como el corazón. N. P. Sinítsin ha utilizado en las ranas un método suyo de injerto homoplás-

tico del corazón; los animales vivieron durante muchos meses con un corazón extraño, que después de trasplantado continuó funcionando normalmente. Sinítsin y Démijov han logrado trasplantar con éxito a los mamíferos un segundo corazón. En los experimentos de V. Démijov se ha dado el caso de que a un perro se le paralizase uno de los dos corazones, el propio, y siguió viviendo con el corazón trasplantado.

Los injertos se llevan a cabo por lo común en lugar semejante al que ocupa el implantado; por ejemplo, la piel del hombro se trasplanta a la cara; el corazón a la cavidad torácica, etc. Sin embargo, en bastantes casos es preciso colocar el implantado en un lugar extraño para él, por ejemplo, un ovario debajo de la piel. Así lo han hecho a veces los investigadores deliberadamente, para darse idea de hasta qué grado es capaz de prender el implantado. Por ejemplo, se colocaron espolones de un gallo en el lugar de la cresta, donde prendieron; colas de ratas en la espalda, etc.

Hay que distinguir entre trasplante y *complantación*, que consiste en juntar partes de tamaño más o menos igual de dos organismos. Se han unido, por ejemplo, la mitad anterior y posterior del cuerpo de renacuajos de dos clases de ranas, una común y otra de zarzal, y las crisálidas de dos mariposas diferentes.

La complantación puede tener únicamente éxito entre organismos de especies semejantes; en la complantación lejana no se llega a consolidar la unión.

VIDA DE LOS TEJIDOS FUERA DEL ORGANISMO

Algunos tejidos pueden vivir y crecer durante largo tiempo, separados del organismo. Existe una metodología especial al objeto de realizar el cultivo de un tejido aislado. Para que este trabajo tenga éxito es necesario mantener la esterilidad, es decir, preservar al tejido del contacto con microorganismos y asegurar las condiciones necesarias de nutrición y aireación. Generalmente, los tejidos se cultivan en cámaras especiales, que permiten estudiarlos al microscopio. Para ello se toman cristales gruesos provistos de concavidades. El trozo de tejido cuyo crecimiento deseamos estudiar separado del organismo, se coloca en una gota que pende del cubreobjetos, con el que se cubre la concavidad del portaobjetos. Todos los intersticios se tapan con parafina. Como medio nutritivo se utiliza plasma sanguíneo, al que se ha añadido extracto de embrión de pollo, a fin de intensificar el crecimiento del tejido cultivado. Como el tejido desprende al crecer productos de metabolismo que son tóxicos, es necesario de tiempo en tiempo mudarle de medio. Con el método de cultivo de los tejidos fuera del organismo, es decir, de la explantación, se han llegado a conocer los rasgos característicos del crecimiento de tejidos aislados. El cultivo de tejidos fuera del organismo es un procedimiento muy comodo para toda clase de observaciones en vida. Así se han podido estudiar las formas de movimiento de las células, muchos detalles de la división celular que hasta entonces se habían escapado a la atención de los investigadores y otros muchos fenómenos.

SENECTUD Y MUERTE

A partir de un determinado período, la intensidad vital de todos los organismos comienza a disminuir paulatinamente; al mismo tiempo tienen

lugar una serie de cambios en las funciones y en la estructura del cuerpo; llega la senectud. Esta es la suerte de todos los seres vivos, desde los organismos más primitivos hasta el hombre.

Naturaleza de los cambios producidos por la senectud.

Los cambios seniles pueden afectar a todas las propiedades y rasgos del organismo, aunque no siempre se presentan del mismo modo. Prueba de ello son las observaciones que a diario realizamos sobre las personas. La senectud transcurre de forma diferente en los distintos individuos; cierto número de funciones y órganos puede variar profundamente; otros, en cambio, pueden conservar una gran actividad. Varía igualmente en el hombre —y también en los animales— la época en que la vejez adviene. Encontramos personas decrépitas a los sesenta años, mientras que otros a los ochenta años conservan el ánimo y la capacidad de trabajo.

Sin embargo, hay una serie de rasgos característicos de la vejez: la piel se cubre de arrugas, el cabello encanece, el cuerpo se encorva, los dientes se caen y los ojos pierden el brillo; la persona pierde el apetito, adelgaza, desaparece la actividad sexual. Estos signos exteriores van acompañados de profundos cambios internos. Los tejidos, ricos en agua durante la juventud, parecen secarse; al perder el agua se arrugan.

Al mismo tiempo, aumenta la cantidad de sales minerales; parece como si los tejidos se mineralizasen.

También varía mucho la cantidad de grasas y lipoides en los tejidos, aumentando en primer lugar el colesterol[1].

La acumulación de colesterol en las paredes de los vasos, consecuencia de los cambios del metabolismo, produce, como ha demostrado N. N. Anichkov, grandes cambios, conocidos bajo el nombre de arteriosclerosis. Las paredes de los vasos pierden su elasticidad, se hacen frágiles, lesionándose con facilidad y dando lugar a derrames de sangre. No hay que pensar que la arteriosclerosis es un fenómeno natural de la vejez. Se trata de un proceso patológico, cuyo desarrollo puede evitarse. Es más, últimamente se ha puesto en claro que las modificaciones arteriosclerósicas de las paredes de los vasos son un proceso reversible, es decir, que en principio esta enfermedad es curable.

Al envejecer, se producen no sólo cambios cuantitativos, sino, lo que es más importante, transformaciones cualitativas de los portadores de la vida, los albuminoides. Los albuminoides llamados solubles, que integran el protoplasma y son los más complejos y de mayor valor, se reducen, pero en cambio aumenta la proporción de los insolubles, de menor importancia, que forman parte de diferentes fibras.

En el organismo senil se observan cambios en el sistema nervioso. Generalmente se debilita la memoria; pero, de un modo muy especial: los acontecimientos lejanos, que tuvieron lugar en la niñez, se conservan bien, y en cambio se olvidan los hechos recientes. Sin embargo, es necesario señalar que las facultades intelectuales pueden conservarse por completo, incluso en la edad más avanzada, y de ello hay multitud de ejemplos. I. Michurin, el gran transformador de la naturaleza, conservaba despier-

[1] Colesterol, sustancia orgánica del grupo de las estearinas.

ta a los ochenta años su enorme inteligencia y poseía una gran capacidad de trabajo. Sus actividades no las interrumpió la vejez, sino una enfermedad mortal. El genial fisiólogo I. Pávlov orientó hasta los últimos años de su vida —y falleció a los ochenta y seis años— el trabajo de sus numerosos discípulos, dirigiendo con regularidad sus famosos "miércoles". Es digno de señalar que Pávlov, anciano ya, dio comienzo a una nueva etapa de sus actividades: trasladó su trabajo a la clínica. Darwin, que vivión hasta los setenta y tres años, realizó en vísperas de su muerte nuevos experimentos y se mostraba lleno de nuevas ideas. L. N. Tolstoi conservó a los ochenta años una inteligencia clara y escribió entonces una serie de hermosas obras.

Estos y otros muchos ejemplos muestran la sinrazón de algunos autores al afirmar que el descenso de las facultades intelectuales es atributo obligatorio de la vejez. Como veremos más adelante, la duración de la vida humana oscila entre límites muy amplios, y de acuerdo con ello varía el comienzo de la depresión senil.

En la vejez se reduce la capacidad recuperadora del organismo, disminuyendo la inmunidad a las enfermedades infecciosas.

Duración de la vida.

Hemos hablado ya de que la duración de la vida ofrece grandes oscilaciones. Así nos lo revela la comparación entre distintos individuos y entre representantes de grupos sistemáticos diferentes. Representantes distintos de mundo orgánico pueden vivir desde varios días, e incluso horas, hasta milenios.

Muchos representantes de la flora primaveral, los tulipanes por ejemplo, que cubren de un tapiz multicolor las estepas meridionales de la Unión Soviética, viven muy poco tiempo. Mueren al comenzar los primeros días calurosos. Las plantas herbáceas rara vez viven más de un año. Las excepciones se deben a la reproducción natural a expensas de la raíz, de las yemas que invernan, etc., etc., es decir, a la reproducción vegetativa. Entre los arbustos y árboles, el arándano vive cerca de 95 años; el cerezo, cerca de 200 años; la hiedra, alrededor de 440 años; el enebro llega a los 500 años. Más duración alcanzan aún los abetos y los pinos, que llegan a los 1.000 años, y los robles y los tejos, que viven 2.000 años. En el Jardín Botánico de Nikitski (Crimea) existe uno de esos tejos. Hay ejemplos de longevidad más extraordinarios. Por ejemplo, la sequoia. (*Sequoia gigantea*), de California, alcanza una altura de 112 metros y un diámetro de 9,5 m., calculándose su edad en 5.000 años. Por último, las especies del género *Macrozamia* (clase cicadinas), árboles oriundos de Australia, llegan a vivir de 12.000 a 15.000 años.

Los animales no presentan ejemplos de semejante longevidad. Sin embargo, pueden citarse casos de animales que han vivido varios siglos. Hay que subrayar que la edad límite de los animales no depende de su grado de organización. Por ejemplo, las hidras, que comienzan a vivir en primavera, mueren en otoño del mismo año; en cambio, las actinias, representantes del mismo tipo, celentéreos, pueden vivir de 50 a 70 años. Los rotíferos duran 2 ó 3 días; las sanguijuelas llegan a la edad de 25 a 27 años.

Entre los invertebrados pueden citarse los siguientes ejemplos: los cestodos pueden vivir en el intesitno humano de 20 a 35 años. Algunos moluscos de agua dulce, como las almejas perlíferas, llegan a los 100 años. Entre los insectos, los efeméridos viven tan sólo unos días; las hormigas, de 10 a 15 años.

Veamos ahora algunos datos acerca de la vida de los vertebrados. Los peces viven de 1 a 3 años (gobios, nemachilus) hasta centenares. En un lago fue pescado un enorme sollo de 5,7 m. de longitud y 140 Kg. de peso. A juzgar por una plaquita de plata que conservaba en las agallas, este monstruo había vivido 267 años. En 1794, al limpiar los estanques de Tsarítsino (en las cercanías de Moscú) se encontró un sollo de más de 2 m. de longitud. En una agalla levaba un anillo de oro con la siguiente inscripción: "Lo soltó el zar Borís Fédorovich", es decir, que el animal había vivido en los estanques cerca de 200 años. Las anguilas viven 60 años; los salmones, más de 100. La rana común llega a los 16; los sapos tienen una vida más larga, su límite son 35 años.

Muchos reptiles tienen gran longevidad. Los cocodrilos y las tortugas llegan a los 300 años; las serpientes, a varias decenas.

Las aves viven por término medio de 15 a 50 años (estorninos, ruiseñores, jilgueros, palomas). Los papagayos alcanzan los 100 años. A esa edad llegan aproximadamente los gansos. Los halcones son aves de vida larga, hasta 170 años.

La vida de los mamíferos es muy variable. Las ratas, por ejemplo, viven de 2 a 2,5 años; los perros, 10 a 15; las vacas, de 20 a 25; los caballos, unos 40. Se suponía que los elefantes viven 400 años, pero esta cifra es muy exagerada, ya que corrientemente mueren al alcanzar los 100. En cuanto a los simios antropoides, es difícil determinar la duración de su vida, ya que soportan mal el cautiverio.

Respecto a los límites exactos de la vida humana, es difícil hablar. Depende de muchas condiciones, y ante todo de los factores económico-sociales. El hambre y la nutrición insuficiente, la desocupación, el trabajo excesivo, los oficios nocivos, las condiciones antihigiénicas de vida, las enfermedades sociales (tuberculosis, sífilis), las epidemias y, por último, las guerras, todas estas lacras de la sociedad capitalista, que se basa en la explotación del hombre por el hombre, reducen la vida de los trabajadores. El capitalismo condena a la humanidad a la degeneración y la extinción. Los representantes de las clases explotadoras tampoco viven mucho, a consecuencia de toda clase de excesos y de su modo de vida parasitario. Unicamente el régimen socialista ofrece las condiciones necesarias para alcanzar el límite natural de la vida.

Actualmente la mayor mortalidad corresponde a la edad de 70 a 75 años; una mayor longevidad es un fenómeno relativamente raro. Sin embargo, no puede considerarse en modo alguno que los 75 u 80 años representen el límite de vida del hombre. Según el censo de población, en la Unión Soviética viven cerca de 29.000 centenarios; entre ellos los hay de 120, de 140 y hasta de 160 años. Muchos conservan la capacidad de trabajo, inteligencia despierta y buena vista. Hay fundamentos para considerar que el límite de la vida humana no es inferior a 120-150 años, y quizá bastante superior. No hay duda que el cambio de condiciones de vida y de medio económico-social han de producir también cambios en la duración de la vida. Es indudable que llegará un tiempo, no lejano ya —la

sociedad comunista— en que las personas alcanzarán la vejez y la muerte naturales.

El problema de la longevidad.

Muchos hombres de ciencia han emitido diferentes hipótesis sobre las causas de la longevidad del organismo. Se observó que, dentro de grupos sistemáticos afines, la duración de la vida es proporcional a las dimensiones del cuerpo, o sea que, de ordinario cuanto mayor es el animal, más vive. Algunos autores suponían que la longevidad corresponde al período de crecimiento multiplicado por seis o por siete. Y como el hombre crece hasta los 25 años, se consideraba que el límite de su vida era de 150-175 años. Después, esta teoría se concretó algo; sus defensores pasaron a afirmar que la duración de la vida es proporcional al tiempo comprendido entre el nacimiento y el momento en que se unen las epífisis de los huesos. Pero tampoco esos cálculos corresponden a la realidad. Se sabe que la oveja crece durante 5 años y vive 15, es decir, que, en este caso el coeficiente es 3. Al mismo tiempo, el crecimiento de los papagayos, que viven 100 años, se termina a los 2; por lo tanto, su coeficiente equivale a 50.

Se ha intentado, en fin, establecer un paralelismo entre la longevidad y la duración del período embrionario, pero esta opinión también es infundada. Basta recordar que el embarazo del ganado vacuno y del hombre duran lo mismo, nueve meses. Sin embargo, a los 20 años la vaca es ya viejísima, mientras que el hombre se encuentra en pleno desarrollo físico e intelectual. Por lo tanto, hasta la fecha carecemos de un criterio que nos permita calcular el límite posible de vida de tal o cual organismo.

Teorías sobre el envejecimiento.

¿A qué se deben, pues, los cambios seniles que traen consigo la muerte? Son muchos los científicos que han tratado de resolver esta cuestión. Parte de ellos, al no encontrar acertada respuesta, se limitaban a dar una explicación tautológica: la vejez parece ser consecuencia de la interrupción de las divisiones celulares, por lo que las células se desgastan. Las células dejan de dividirse porque envejecen. Con ello el círculo se cierra: los cambios seniles son motivados por el envejecimiento de las células. Ahora bien, se conocen bastantes ejemplos de células que durante largo tiempo, en el transcurso de toda la vida del organismo, funcionan normalmente sin multiplicarse, como son las células nerviosas y las fibras musculares, y a pesar de ello, al llegar la vejez, estos elementos sufren transformaciones degenerativas y mueren. Por lo tanto, la vejez es un cambio de todo el organismo, tesis que ya ha sido ilustrada con numerosos ejemplos. Ciertos autores, para explicar las causas del envejecimiento, buscan concepciones vitalistas y hablan del fatal desgaste de cierto principio, capaz únicamente de consumirse, pero no de regenerarse. Este misterioso substrato o energía lo recibe cada organismo en el momento de nacer y va desgastándose poco a poco hasta agotarse; entonces llega la vejez, y con ella la muerte.

El biólogo checo Rozycki expuso la idea de que con la edad se modifican las propiedades de los coloides que hay en tejidos y células. Pierden la facultad de contener el agua, y del estado hidrófilo pasan al hidrófobo.

Es indudable, como ya hemos visto, que la vejez va acompañada del empobrecimiento de los tejidos en agua. A ello se debe la pérdida de elasticidad y su enriquecimiento en sales minerales. Pero queda sin explicar el origen del "envejecimiento" de los coloides que hasta entonces no gozaban de tal propiedad. Las modificaciones coloidales son consecuencia, y no causa, de los cambios seniles.

En numerosos casos, la duración de la vida guarda relación con la reproducción sexual. Esta dependencia se advierte con especial claridad en los vegetales. Por ejemplo, en las latitudes septentrionales, el ágave puede vivir de 80 a 100 años; en su patria, en cambio da fruto a los diez años y después muere; la palma de Java, el begang, crece durante varias decenas de años, produce a continuación un penacho de flores, da frutos y muere. Sin embargo, estos ejemplos no están muy extendidos, incluso entre los vegetales. Es suficiente recordar que la mayoría de las plantas perennes o plurienales, durante su larga vida dan anualmente frutos (manzanos, robles, etc.).

Debemos considerar el envejecimiento y la muerte como una etapa natural y final del desarrollo individual. "Ahora ya —escribía Engels—, no se considera científica la fisiología que no ve la muerte como un momento esencial de la vida, que no comprende que, en el fondo, la negación de la vida va implícita en la vida misma, de tal forma que la vida se concibe siempre en relación con su resultado obligatorio la muerte; la cual permanece siempre en ella en estado latente. El concepto dialéctico de la vida se reduce precisamente a esto"[1]. Y Engels llega a la siguiente conclusión: "Vivir es morir".[2]

Por lo tanto, en el proceso de la propia vida se crean las condiciones que, en última instancia, niegan la vida y conducen a la muerte.

En este sentido son de gran interés las ideas expresadas por I. Méchnikov sobre las causas de la muerte. Conviene, sin embargo, señalar que Méchnikov se refería a las causas de la muerte prematura, y no de la muerte natural. Según él, el envejecimiento prematuro de los organismos se debe a un envenenamiento sistemático e ininterrumpido de todos los tejidos y órganos con productos tóxicos de la actividad vital de las bacterias de la putrefacción que habitan el intestino de los vertebrados. Al hablar de los mamíferos, debe tenerse en cuenta la microflora del intestino grueso. Desde los primeros días, más aún, con la primera leche materna, infectan el intestino del recién nacido los microorganismos, y a partir de entonces los productos de su actividad, indoles, fenoles y algunos otros, se filtran a través de las paredes del intestino y se incorporan al torrente sanguíneo.

La veracidad de estas ideas las ilustró Méchnikov con numerosas pruebas. Por ejemplo —dice—, el intestino grueso de los peces está poco desarrollado y estos animales se caracterizan por una relativa longevidad. Entre las aves, se observan oscilaciones en la duración de la vida: viven mucho las rapaces, cuyo intestino es corto; mientras que los avestruces, que poseen un intestino grueso muy desarrollado, no suelen pasar de los 20 años. El gran desarrollo del intestino de los rumiantes es, según Méchnikov, la causa de la corta vida de las vacas y las ovejas.

[1] F. Engels. *Dialéctica de la naturaleza*, 1952, pág. 238.
[2] Ibídem.

Bajo la acción continua de los metabolitos bacteriales se producen, en primer lugar, cambios en las células nerviosas y fibras musculares. Las células que han sufrido transformaciones son devoradas después por los macrófagos[1]. Por tanto, para combatir el envejecimiento prematuro es necesario, según la teoría de Méchnikov, eliminar la microflora pútrida del intestino. Algunos de sus celosos seguidores proponían cortar el intestino grueso, operación que en ciertos casos realizaron felizmente, obteniendo buenos resultados. Sin embargo, la resección intestinal es una operación difícil, y además el intestino grueso no es sólo "un depósito de fermentación", sino que desempeña también otras funciones, cuya interrupción puede repercutir sobre el organismo. Méchnikov propuso otro camino para neutralizar la microflora "salvaje" de la putrefacción, consistente en sustituir estos microbios por un cultivo de microflora que no produjese cuerpos tóxicos; esto puede lorgarse inrtoduciendo fermentos lácteos en el conducto intestinal. Estos últimos, al reproducirse en el intestino, crean un medio ácido, mortal para las bacterias de la putrefacción. Méchnikov recomendaba el empleo en la dieta diaria de leche agria búlgara. Hoy se utilizan ampliamente los productos que contienen fermentos lácteos, como son el kefir, la leche acidificada, etc.

No podemos por menos de señalar que las ideas de Méchnikov sobre el antagonismo de los microorganismos y la preparación de productos que eliminen otras formas de microbios han obtenido en la actualidad una gran aplicación médica. Ya en el siglo pasado, los investigadores rusos V. A. Manassein, A. G. Polotébnov y otros utilizaron el moho para curar heridas infectadas, abcesos, etc. Los antibióticos —penicilina, estreptomicina, gramicidinia, etc.—, que en muchos casos producen un brillantísimo efecto curativo, son la realización de las ideas de Méchnikov acerca del antagonismo bacteriano. También son antibióticos los fitoncidios, descubiertos por B. P. Tokin, sustancias producidas por muchas plantas (cebollas, ajos, pinos, etc.), que destruyen las bacterias y los protozoos.

Méchnikov, que expuso su teoría en una serie de obras, entre ellas *Estudios sobre la naturaleza del hombre* y *Estudios sobre el optimismo*, consideraba que lo fundamental en la vejez prematura es el envenenamiento a causa de los metabolitos de las bacterias; de este modo reducía el alcance del problema. No tenía presente el valor de los factores económico-sociales. La *ortobiosis* que Méchnikov preconizaba, es decir, una vida adecuada que condujera al hombre a la vejez natural, era, dentro de la sociedad capitalista, una utopía. Unicamente ahora, en el país soviético, se están creando las condiciones necesarias para la ortobiosis. Sin embargo, para llegar a una vejez activa se requiere un complejo de medidas, y no sólo eliminar la intoxicación. Hace falta acabar con las diferencias esenciales entre el trabajo manual e intelectual, entre la ciudad y el campo, aplicar ampliamente normas higiénicas y, finalmente, propagar entre las grandes masas la cultura física y el deporte.

En el desarrollo de los cambios seniles corresponde un importante papel al sistema nervoiso central. Según palabras de I. Pávlov, la corteza cerebral mantiene bajo su dirección todos los fenómenos que se realizan en el cuerpo de los animales superiores y del hombre.

[1] Macrófagos, células del tejido conjuntivo, descubiertas por Méchnikov, capaces de realizar la digestión endocelular.

Los experimentos demuestran que la ablación de los hemisferios cerebrales produce graves trastornos funcionales en el organismo. Los animales, incluso jóvenes, muestran todos los síntomas de envejecimiento prematuro, que termina con la muerte prematura.

Y no sólo la ablación de los hemisferios cerebrales, sino los desequilibrios en su funcionamiento normal pueden acarrear el envejecimiento prematuro y la muerte.

M. K. Petrova, que trabajaba en el laboratorio de Pávlov, estableció que la supertensión prolongada de la actividad nerviosa superior produce en los perros "neurosis". Tales perros presentan todos los rasgos de la decrepitud prematura, se les cae la piel y los dientes, se les pone blanco el pelo, se les debilita el oído y la vista, etc. Hay que tener en cuenta que el papel del sistema nervioso central en el cumplimiento de todas las funciones del organismo es mucho mayor en el hombre que en los animales. Junto al primitivo sistema de expresión aparece en él un segundo sistema, es decir, la lengua hablada y escrita, oída y leída. Según opinión de Pávlov, las vivencias y emociones pueden pesar con frecuencia mucho más que cualquier factor físico; la palabra puede ser causa de cambios profundos en todo el organismo humano.

Por lo tanto, el aprender a superar la dificultades, la fuerza de voluntad, el optimismo, contribuyen a preservar el organismo del desgaste prematuro y el envejecimiento.

Uno de los rasgos característicos de los organismos que envejecen es el debilitamiento funcional de las glándulas endocrinas, incluídas las genitales. Durante cierto tiempo hubo una gran tendencia a utilizar de modo unilateral esta actividad del organismo al objeto de conseguir el "rejuvenecimiento".

El problema del "rejuvenecimiento".

Deseoso de elevar su capacidad de trabajo, el fisiólogo francés Brown Sequard, de edad muy avanzada, se inoculó un extracto de semen de carnero. No tardó en experimentar un resultado benéfico: se sintió más animoso, disminuyó el cansancio, etc. Después de ello se generalizó el método de inoculación seminal. Sin embargo, de ahí a poco se descubría que el efecto era de muy corta duración, que los preparados utilizados no rejuvenecen, sino que, en el mejor de los casos, actúan sólo como tonificantes, y que influye mucho la autosugestión. El método de Brown Sequard fue olvidado.

Luego se advirtió que *ligando los conductos eyaculadores* a los animales viejos se lograba rejuvenecerlos. Después de semejante operación, a las ratas viejas les crecía el pelo, se les enderezaba el cuerpo y recobraban el apetito. Los animales se volvían más activos y recuperaban el instinto sexual. También se llegó a realizar esta operación en personas de avanzada edad. Pero en seguida se vio que después de un corto aumento de fuerzas, sobre todo en las funciones sexuales, comenzaba una gran depresión y el organismo envejecía con gran rapidez. Estos cambios son ya definitivos.

Para lograr el "rejuvenecimiento", se recurrió a otro método el de *trasplantar* testículos de individuos jóvenes a los animales viejos. Dicha operación se realizaba por lo general en el escroto, debajo de la capa albuminoidea del testículo del animal portainjertos. En los animales do-

mésticos, carneros, caballos y toros, esto dio resultado satisfactorio. Por ejemplo, en uno de los experimentos, después de injertar a un carnero pedazos de testículo de un animal joven, recobró la actividad sexual y pudo fecundar una oveja, naciendo incluso corderos. Pero los trozos injertados los absorbía pronto el organismo y el animal volvía a su estado primitivo. La operación podía repetirse, volviendo a producir un segundo "rejuvenecimiento", etc. El método del injerto de testículos se aplicó a personas, empleándose para ello testículos de chimpancés y cinocéfalos. En la época de entusiasmo por estos injertos, se llegó a pensar en la posibilidad de alcanzar la inmortalidad; bastaba con repetir de tiempo en tiempo el injerto. Sin embargo, la vida disipó estas ilusiones. El primer injerto produce, en realidad, una "reanimación" del organismo, que dura algún tiempo, pero después la curva de la actividad vital desciende rápidamente. Los siguientes injertos dan un resultado cada vez menor, y en muchos casos son ineficaces. Llegan la decrepitud y la muerte prematura. Por lo tanto, los métodos de reforzar la actividad de las glándulas genitales conducen únicamente a una reanimación temporal del organismo y no pueden asegurar en modo alguno la prolongación de la vida ni aumentar la longevidad.

Como ya hemos señalado, la longevidad depende de todo el *conjunto de condiciones de vida,* y sería ingenuo esperarlo todo de la acción sobre una sola función o un órgano. Además, para nosotros lo importante es la duración de la vida de toda la población, y no de determinados individuos. Para lograrlo hace falta modificar las condiciones de vida del hombre, eliminar los factores económico-sociales que la acortan, aplicar medidas sanitarias e higiénicas y acabar con las enfermedades infecciosas. En una palabra, recorrer, el camino que sigue la sanidad soviética.

Bastan unas pocas cifras para ilustrar los éxitos alcanzados en la Unión Soviética después de la Gran Revolución Socialista de Octubre en la lucha por la salud de los trabajadores. Tomando como 100 la mortalidad en 1913, en 1935 disminuyó hasta 54 y en 1952 hasta 27. La duración media de la vida aumentó de 32 años en 1896 a 50 años en 1939. Gracias a la elevación del nivel de vida de los trabajadores, el incremento anual de la población de la U. R. S. S. es superior a los tres millones.

Un gran papel en el aumento de la longevidad corresponde al trabajo sistemático y también a la práctica en gran escala de la cultura física y el deporte.

No cabe duda de que en el futuro seguirá aumentando la duración de la vida de la población de la U. R. S. S. Junto al mejoramiento general del bienestar del país y a la elevación del nivel material de los trabajadores que realizan de modo firme y constante el Partido Comunista y el Gobierno Soviético, corresponde una importante y honrosa tarea al personal médico, a los órganos de sanidad y, sobre todo, al personal dedicado a la medicina profiláctica.

La muerte como una etapa del desarrollo individual.

Después del período de vejez natural o prematuro, adviene la muerte. La muerte es una etapa natural e inevitable del desarrollo. Weismann, y con él otros metafísicos, afirmaba que la muerte es el destino de los plu-

ricelulares, en los que sólo es mortal una parte del organismo, el cuerpo o soma. Las células sexuales son inmortales, proceden de las células sexuales de generaciones precedentes. Existe, se afirma, una línea continua del plasma embrionario, que nunca interrumpe su existencia. De este plasma embrionario inmortal se derivan, por gemación, las células somáticas que forman el cuerpo mortal.

K. Timiriázev criticó la teoría del plasma embrionario, demostrando su carácter anticientífico.

Los trabajos de T. Lisenko y otros científicos soviéticos demuestran el total error de la división del organismo único en plasma embrionario inmortal y cuerpo mortal. Las células sexuales las origina el organismo en desarrollo, son producto del cuerpo, del soma. De igual modo, no hay fundamento alguno para hablar de la inmortalidad de los unicelulares. Estos últimos también presentan síntomas de cambios por envejecimiento y también mueren.

Corrientemente no cuesta trabajo distinguir un ser muerto de uno vivo, ya que sin el metabolismo los albuminoides no pueden subsistir, se descomponen. No es tan fácil determinar con exactitud el momento en que la vida cesa. Engels escribía acerca de esto: "No es fácil tampoco determinar con fijeza el momento de la muerte, toda vez que la fisiología ha demostrado que la muerte no es un fenómeno repentino, instantáneo, sino un proceso muy largo"[1].

En realidad, por un lado, la muerte y la destrucción de las células y sus complejos abarca toda la vida del organismo; por otro, al morir, se van apagando paulatinamente las funciones de determinados sistemas de órganos, y la muerte clínica, es decir, la interrupción de los movimientos respiratorios, del funcionamiento del corazón, la ausencia de reflejo pupilar, el enfriamiento de los tegumentos, etc., representan sólo una etapa determinada en el desarrollo de estos fenómenos. Después de esto, algunos órganos y tejidos continúan existiendo algún tiempo. Por ejemplo, se conservan el movimiento del epitelio vibrátil de las vías respiratorias, la facultad de contracción de los músculos, etc. Algunos órganos pueden recobrar la actividad vital. Se puede afirmar que el fallecimiento, que comenzó antes de comprobarse la muerte clínica, continúa después de haberse producido ésta. En ello se basan los experimentos de "devolver la vida" a ciertos órganos. El término "devolver la vida" es convencional, ya que está completamente claro que la muerte natural es definitiva. A la ciencia rusa le corresponden grandes méritos en el estudio del problema de la vuelta a la vida después de haberse producido la muerte clínica. En 1902, A. A. Kuliabko restableció por primera vez en la historia de la ciencia el funcionamiento del corazón extraído del cadáver de un niño. Haciendo pasar por él una solución nutritiva y manteniéndolo bajo un régimen de temperatura especial, continuó sus contracciones rítmicas durante varios días. Son muy interesantes los experimentos llevados a cabo por N. P. Krávkov para prolongar la vida de dedos y orejas tomados de cadáveres. Conservó largo tiempo estos órganos y después, haciendo pasar por los vasos un líquido nutritivo, comprobó que los vasos sanguíneos son capaces de reaccionar a la acción de agentes farmacológicos, se ensanchan y estrechan. Es de gran interés el experimento de S. S. Briujonenko, que

[1] F. Engels, *Del socialismo utópico al socialismo científico*. 1952, pág. 50.

hizo revivir una cabeza de perro. No sólo el corazón, sino también el sistema nervioso puede continuar viviendo algún tiempo. Las "cabezas muertas" de perros conservaban el reflejo pupilar, parpadeaban y se relamían.

Los científicos soviéticos han creado un método combinado para devolver la vida a los organismos. Este método fue experimentado durante la Gran Guerra Patria con soldados del Ejército Soviético a quienes había sido diagnosticada la muerte clínica por pérdida de sangre. En muchos casos los resultados fueron brillantísimos. En estas circunstancias el éxito depende de la rapidez de la intervención, una vez ha sido registrada la muerte clínica.

CONCLUSIONES

1. La teoría del desarrollo por estadios tiene en biología una importancia de carácter general. En su ontogénesis, todos los órganos recorren diferentes etapas de desarrollo, que se caracterizan por distintas relaciones con el medio ambiente.

2. Los tipos estructurales de huevos, lo mismo que sus formas de segmentación, dependen de la filogenia de cada especie, de las condiciones del medio exterior en que tuvo lugar su evolución histórica. El embrión recorre durante su desarrollo un período citotípico, que se caracteriza por amplias posibilidades en el de las células, entrando después en un período organotípico, durante el cual se forman y desarrollan los órganos.

3. La primera etapa del período organotípico es la gastrulación; consiste en la formación del embrión, constituido por dos hojas primarias. En los animales de organización elevada, la gastrulación da lugar a un embrión formado por tres hojas. Los tipos de gastrulación se relacionan con los tipos de estructura de los huevos. Terminada la gastrulación, adviene el período de la organogenia. La formación de las capas embrionarias, resultado del paso de los animales a la vida terrestre, es un modo de adaptación; así, el huevo no se deseca ni deforma.

4. Las alteraciones en el desarrollo embrionario normal dan lugar a diferentes monstruosidades. Su origen puede ser una detención en el desarrollo o el desarrollo desproporcionado de uno u otro órgano, así como la división del órgano; puede ocurrir también cuando no se sueldan sus elementos pares.

La unión de los embriones o la no separación total de los mellizos da lugar a monstruos dobles o múltiples.

5. Terminado el desarrollo embrionario, entra el organismo en el período de desarrollo posembrionario. En el posembrionario directo, lo mismo que en el desarrollo con metamorfosis, los animales que salen de las capas ovulares o de las embrionarias se diferencian cualitativamente de las formas adultas; por lo tanto, los conceptos de desarrollo posembrionario directo y no directo tienen tan sólo valor relativo.

6. Durante el desarrollo individual son muy importantes los procesos de reconstitución del organismo; entre ellos se destaca la regeneración fisiológica, que se observa en todos los seres vivos. La regeneración reparativa es también típica de todos los organismos, pero en grado diferente, desde la reproducción del todo a partir de una fracción hasta la reconstitución de determinados órganos y tejidos.

7. El grado alcanzado por la capacidad regenerativa no depende del

nivel de organización del animal. Una capacidad regenerativa elevada se ha desarrollado a lo largo de la historia, durante el proceso de selección natural de las formas que, en su filogenia, sufrieron más a menudo lesiones traumáticas y pérdidas de órganos.

8. Los métodos de injertos autoplásticos, homoplásticos y heteroplásticos descubiertos por la biología experimental (sobre todo los dos primeros), se utilizan ampliamente en Medicina. En este sentido son del mayor valor los trabajos de V. Filátov.

9. El método de complementación y el cultivo de tejidos permiten enunciar, con ayuda de observaciones realizadas en vida, una serie de leyes importantes respecto a la influencia recíproca de los tejidos y las células.

10. Cumplidas todas las etapas de desarrollo individual, el organismo envejece y muere. La muerte es el fin natural del ciclo vital. Sin embargo, la vejez y la muerte fisiológicas son fenómenos muy raros. Las teorías de I. Pávlov y I. Méchnikov aclaran algunas causas de la vejez prematura e indican el camino a seguir para evitarlas.

CAPITULO VI

LA TEORIA DE LA HERENCIA Y DE LA VARIABILIDAD

La teoría materialista contemporánea de la herencia y de la variabilidad está vinculada al nombre del gran transformador de la naturaleza, a Iván V. Michurin.

Las tareas de esta ciencia y los caminos a seguir en ella fueron expuestos por K. A. Timiriázev, que exigía de los investigadores una visión creadora en su trabajo, el cual, decía, ha de trazarse el objetivo final de *dirigir* el proceso de la herencia y sus transformaciones.

I. V. Michurin.

La ciencia del desarrollo dirigido del organismo la fundó Michurin; los trabajos de T. D. Lisenko y otros continuadores de las doctrinas de Michurin representan una gran contribución a su perfeccionamiento.

A diferencia de la teoría cromosómica de la herencia, expuesta por Weissmann y Morgan, según la cual los cromosomas del núcleo celular son los únicos portadores de la herencia y no dependen del metabolismo ni de las condiciones de existencia del organismo, la teoría michurinista estudia el organismo relacionándolo con el medio en que habita. Reconoce como portadora de la herencia a la célula en su conjunto, sin separarla del organismo entero y de las condiciones en que vive. El metabolismo, propiedad inseparable del ser vivo, corre a cargo de la célula y de su organoide principal, el núcleo. La teoría michurinista adscribe al núcleo el papel más importante en los procesos de metabolismo celular.

Iván Vladímirovich Michurin (1855-1935) nació en la provincia de Riazán. Su padre y su abuelo eran muy aficionados a la horticultura. Michurin creció rodeado de una naturaleza frondosa; su padre, que siempre estaba ocupado en el huerto, le inculcó su interés por el cultivo de las plantas.

Michurin ansiaba estudiar una carrera, pero no logró ver cumplidos sus deseos. La situación económica de su padre empeoró de tal manera que a los diecisiete años hubo de abandonar la escuela y colocarse como empleado ferroviario. Todo el tiempo libre lo dedicaba al estudio de la Botánica, teórica y prácticamente. Durante toda su vida, Mi-

churin compaginó el trabajo con un estudio intenso. Su inteligencia y constancia le permitieron conocer a la perfección los avances de las Ciencias Naturales, hasta colocarse a la cabeza de esta rama del saber y formular una teoría que marcaba nuevos rumbos al desarrollo de la Biología.

Michurin aspiraba a elevar el nivel de la horticultura rusa, a mejorar y multiplicar de manera radical los árboles frutales. Comenzó en un minúsculo pedazo de tierra, que había junto a su casa, en la ciudad de Kozlov. Después, gracias al esfuerzo de su trabajo y al precio de renunciar a lo más imprescindible, reunió el dinero necesario para adquirir en las afueras media hectárea. En esta modesta parcela llevó a cabo un extraordinario y fructífero trabajo con gran cantidad de árboles y plantas frutales y decorativas. Logró reunir una enorme colección de frutales —más de 600 especies y variedades—, que se amontonaban en su reducido huerto.

Michurin puso en juego todos sus recursos para obtener la tierra necesaria para un vivero. En 1888 compró a 7 km. de la ciudad un nuevo terreno de unas 13,5 hectáreas, donde instaló el primer vivero dedicado a la selección de frutales. Allí, bajo los cuidados de Michurin, crecieron árboles típicos de las regiones meridionales, albaricoqueros, melocotoneros, perales y manzanos de las zonas cálidas, vides, olivos, etc., que hasta entonces no se habían visto jamás en Kozlov. Sin embargo, al cabo de diez años de experimentos, Michurin llegó a la conclusión de que para obtener nuevas variedades de árboles frutales, por el cruce de plantas locales y formas meridionales, la tierra en que crecen las plántulas no debe ser demasiado fértil, pues de lo contrario, en los híbridos se reflejarían excesivamente las propiedades de las formas meridionales, los nuevos ejemplares son delicados y no pueden adaptarse a las duras condiciones de la zona media de Rusia. Convencido ya de que los híbridos exigen un régimen espartano, Michurin vuelve a comenzar su obra. Liquida su huerto experimental y traslada sobre sus espaldas el vivero a un lugar nuevo, en que el terreno es pobre. Allí se establece definitivamente y trabaja hasta el fin de su vida.

El Departamento zarista de Agricultura y la ciencia rusa oficial no quisieron saber nada de Michurin, aunque su nombre era conocido en el mundo entero. Científicos europeos y americanos acudían a él para aprender sus métodos de trabajo y obtener esquejes y semillas. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos le ofreció condiciones muy ventajosas para que se trasladase a América con su vivero, a cuyo objeto ponía a su disposición un barco especial. Pero la oferta era inaceptable para el gran patriota ruso, y Michurin la rechazó.

La gran labor de investigación científica del ilustre botánico exigía recursos económicos. El gobierno zarista permanecía sordo a la obra de toda su vida, y Michurin, abandonado a su suerte, hubo de llevar a cabo su gigantesca labor sin más que sus propios medios.

La Gran Revolución Socialista de Octubre vino en su ayuda. Al siguiente día de establecerse el poder soviético en la ciudad de Kozlov, Michurin se declaró dispuesto a trabajar para el nuevo régimen. El poder soviético, desde sus primeros pasos, tuvo presente al gran experimentador. El Partido Comunista y el Gobierno Soviético manifestaron la alta estima en que tenían sus trabajos. Su obra y él mismo fueron objeto de una gran atención por parte del gobierno soviético.

Unicamente en la Rusia Soviética tuvo Michurin la posibilidad de imprimir a su obra una envergadura gigantesca y poner sus éxitos al alcance de todo el pueblo. Sus fervientes deseos de transformar su patria en un jardín floreciente se fueron haciendo realidad.

En noviembre de 1918, el Comisariado del Pueblo de la Agricultura toma bajo su dirección el vivero de Michurin, nombrándole director del mismo y haciéndole asesor del Comisariado. En 1922, M. I. Kalinin, en su visita a la ciudad de Kozlov, presta gran atención al famoso vivero. Por sus grandes méritos en la creación de nuevas formas vegetales, Michurin es condecorado con las órdenes de Lenin y de la Bandera Roja del Trabajo. En 1932, un decreto especial confiere a la ciudad de Kozlov el nombre de

Michúrinsk. En 1935, Michurin es elegido miembro honorario de la Academia de Ciencias de la U. R. S. S.

Michurin murió a los ochenta años de edad. Hasta el último momento gozó de toda su capacidad de trabajo; jamás se agotó el caudal de sus fecundas ideas. Gran número de discípulos suyos y continuadores prosiguen su fructífera labor. Sus obras, unas publicadas por el autor en forma de artículos y monografías sueltas, y otras que en vida de Michurin no llegaron a ver la luz, han sido editadas en cuatro volúmenes.

QUÉ ES LA HERENCIA

Al reproducirse, todos los organismos dan lugar, por regla general, a descendientes semejantes a sí mismos. La reproducción de seres semejantes tiene lugar, como ya se ha indicado, a través de una serie de transformaciones que caracterizan el ciclo individual de desarrollo de los organismos. La herencia, inherente a todos los seres vivos, es una de las propiedades fundamentales de la naturaleza viva que se desprenden del metabolismo. La reproducción de organismos semejantes es tan sólo una parte de la herencia; la otra es la aparición de las variaciones en los seres. Los organismos, constituidos históricamente en determinadas condiciones del medio, adquirieron un tipo de metabolismo característico que estaba de acuerdo con dichas condiciones. Sus descendientes necesitan para desarrollarse unas condiciones ambientales iguales a las que reinaban durante el desarrollo de los padres. Si las condiciones no han cambiado, la nueva generación no se diferenciará sensiblemente de los progenitores. Su desarrollo individual no rebasará el marco del pasado histórico de cada forma. Sin embargo, en la práctica no se da nunca una identidad completa en las condiciones de desarrollo; por eso, tampoco hay un parecido absoluto entre padres e hijos, ni entre individuos de una misma familia pertenecientes a igual generación.

Al variar las condiciones, los organismos en desarrollo forman su cuerpo asimilando algunos otros elementos del medio, y eso constituye la fuente de su variabilidad. Según Timiriázev, la herencia es un concepto amplio, que incluye también la idea de mutabilidad.

La herencia se refleja *tanto en la conservación de lo que existía antes como en la conservación de lo que ha variado.* Timiriázev comparaba la herencia con la inercia, que entraña al mismo tiempo el concepto de reposo y el de movimiento. La inercia se opone por igual a que el cuerpo salga del estado de reposo o cese su movimiento.

Los organismos se han formado históricamente en diferentes condiciones del medio; de ahí sus variables necesidades y su distinta reacción a unas u otras condiciones externas. En otras palabras, sus propiedades hereditarias son distintas. Estudiar estas propiedades en un organismo equivale a elucidar la relación entre él y sus condiciones de vida. Por eso Lisenko define la herencia como la propiedad del organismo de desarrollarse en un sentido relativamente determinado y de poseer un tipo determinado de metabolismo, para lo cual le son necesarias determinadas condiciones del medio ambiente.

El concepto de medio en que habita el organismo es muy amplio: incluye el conjunto de todas las condiciones de la naturaleza viva y de la naturaleza inanimada. Muchos de los elementos que integran el medio son indiferentes para el organismo y sólo una parte de ellos le son nece-

sarios para su vida y desarrollo. En el medio ambiente del organismo es necesario distinguir:

1. *Condiciones de desarrollo,* es decir, las condiciones necesarias para la vida de los organismos, en ausencia de las cuales éstos no pueden desarrollarse normalmente y alcanzar la madurez. Forman parte, por ejemplo, de dichas condiciones, las que determinan los cambios de fase en el desarrollo de las plantas.

2. *Condiciones de existencia,* que permiten a los organismos existir, es decir, alimentarse, crecer, pero sin alcanzar la madurez. Al faltar las condiciones de existencia (alimentos, luz, etc.), mueren.

3. *Elementos indiferentes* para la vida y el desarrollo de los organismos, cuya presencia o falta no influyen en él.

4. *Elementos accidentales del medio,* que no corresponden a las necesidades de los organismos, pero son capaces de influir en ellos. Pueden servir de ejemplo los agentes artificiales: rayos X y otros factores, que actúan intensamente y alteran el desarrollo normal de las células, lo cual da lugar en la mayoría de los casos a la aparición de monstruos y, a veces, a la poliploidia (aumento del número de cromosomas) y a los cambios que ello origina en el organismo (crecimiento de desarrollo acelerado, etcétera).

Medios al parecer distintos, pueden ofrecer las condiciones necesarias para la vida y el desarrollo del organismo, lo que no siempre ocurre en medios en apariencia semejantes.

De aquí la necesidad de conocer las exigencias del organismo y las condiciones que para él son de importancia vital. El estudio de las condiciones de desarrollo del organismo en su conjunto o de sus distintos rasgos permite dirigir ese desarrollo.

La teoría michurinista, que estudia a la vez el organismo y el medio en que vive, afirma que la herencia o naturaleza del organismo se forma y cumple únicamente a través del medio exterior y junto con él.

Durante su desarrollo, los organismos dan pruebas de *selectividad* respecto a las condiciones del medio exterior.

La capacidad de selección es la propiedad que el organismo tiene de elegir entre las condiciones de desarrollo aquellas que en las generaciones precedentes influyeron en la formación de su herencia. La capacidad selectiva de los organismos es en cualquier proceso un modo de adaptación que se ha desarrollado históricamente por selección natural.

CARACTER CONSERVADOR DE LA HERENCIA

Cuanto mayor es el número de generaciones de formas vegetales o animales que se desarrollan en iguales condiciones del medio ambiente, más conservadora es la herencia. Por lo tanto, el *carácter conservador de la herencia es resultado de la adaptación por parte de los organismos a determinadas condiciones de existencia,* resultado de la correspondencia entre su organización y el medio exterior, alcanzada a través de la historia y consolidada por la selección natural. El carácter conservador de la herencia lo determina la coordinación de todos los órganos funcionales del ser.

En el organismo no tienen el mismo valor todos sus rasgos y cualidades, así como todos los procesos que en él transcurren. Unos ejercen señalada influencia en la vida y desarrollo de todo el organismo; en cambio, la falta de condiciones para la realización de otros procesos carece de importancia para el organismo en su totalidad. Por eso varían mucho los caracteres que carecen de importancia para la vida y el desarrollo del organismo. Cuando la alimentación es insuficiente, su desarrollo es mínimo; cuando es excesiva, alcanza un desarrollo exagerado. Así lo vemos, por ejemplo, en las partes vegetativas de las plantas. Los cambios de los caracteres carentes de valor influyen muy poco, y a veces no influyen, en el metabolismo del organismo (a causa de la selectividad), y no se reflejan en la reproducción de las células sexuales. La herencia de tales caracteres es menos conservadora.

Cuando faltan las condiciones específicas necesarias para el desarrollo de tales o cuales caracteres sin importancia para la vida y desarrollo del organismo, éste no los presenta aunque existan las posibilidades hereditarias. Por ejemplo, cuando se siembra trigo "Ukrainka", unos años salen espigas con aristas negras y otros con aristas blancas. Las semillas recogidas de plantas con las dos clases de aristas producen en igualdad de condiciones plantas idénticas. Probablemente, los años en que las plantas tienen las aristas blancas, no existen en el medio ambiente las condiciones necesarias para que se origine el pigmento. A pesar de que en una generación determinada falten o estén poco acusados estos caracteres, la naturaleza del organismo conserva las posibilidades de desarrollarlos. En presencia de las condiciones correspondientes, pueden aparecer normalmente en las siguientes generaciones. Hay que incluir también aquí los casos de *atavismo* o *reversión*, cuando en determinada generación aparecen caracteres o propiedades que faltaban en una serie de generaciones precedentes, pero que existieron en antepasados más antiguos.

Por el contrario, *los rasgos importantes para la vida y el desarrollo del organismo son más conservadores en su herencia,* y no pueden mantenerse en estado latente.

Por ejemplo, el carácter primaveral u otoñal de la planta no puede por menos de manifestarse, ya que, en otro caso, la planta interrumpe su desarrollo, no produce semillas y no da descendencia.

Todas las funciones del organismo van encaminadas a conservar la especie; por eso, los procesos que dan lugar a la formación de las células sexuales son los que más resisten al cambio.

QUEBRANTAMIENTO DE LA HERENCIA

El carácter conservador de la herencia puede ser superado mediante diferentes procedimientos, como es el paso de los organismos a un medio ambiente nuevo, impropio para ellos. Al carecer de las condiciones necesarias para su desarrollo, o mueren o se ven obligados a reorganizarse, a amoldarse a las nuevas condiciones de vida (a asimilar estas condiciones, según expresión de Lisenko). En tales circunstancias, la selectividad se debilita; estos organismos conservan únicamente la tendencia a mostrar mayor predilección por unas condiciones que por otras, y establecen relaciones muy diversas con el medio exterior, modificando el metabolismo que les es característico. Se hacen muy inestables, capaces de variar con fa-

cilidad. Tal estado de plasticidad de los organismos lo denomina Michurin *quebrantamiento* del fundamento hereditario. Los cambios que se producen en esos casos pueden afectar a todo el organismo o tan sólo a algunas de sus partes.

Si los cambios se refieren a órganos importantes para el ser y básicos para la reproducción, las necesidades de desarrollo de la nueva generación diferirán un tanto de las de los progenitores. Obligados a modificar sus relaciones con el medio exterior, los organismos, cuando terminan su ciclo de desarrollo, dan células reproductoras que poseen nuevas propiedades, nuevo patrimonio hereditario. Estas propiedades nuevas necesitarán para reproducirse las condiciones en que se formaron, es decir, la nueva generación tendrá *nuevas necesidades*. Por ejemplo, cuando en Siberia se sembró el trigo meridional trechel, en invierno perecieron la mayoría de las plantas; sin embargo, algunas resistieron el frío. convirtiéndose en originarias de una nueva variedad de trigo marzal. Las siembras consecutivas fijaron los nuevos caracteres, aportaron un factor nuevo de constancia a la herencia.

La acertada comprensión de las relaciones entre el organismo y el medio en que vive permite, al variar las condiciones de vida, incorporar al desarrollo del organismo las nuevas condiciones del medio, o eliminar, por el contrario, determinadas condiciones del proceso de desarrollo, es decir, dirigir los cambios en la naturaleza del organismo.

HERENCIA DE LOS CARACTERES INNATOS Y ADQUIRIDOS

Timiriázev distingue (véase el esquema de la pág. 156) *caracteres hereditarios* (25), es decir, comunes a los de los padres y otros antecesores, *innatos* (26), que surgieron en un ser determinado durante el período de su vida embrionaria, y *adquiridos* (27), que se han desarrollado en el período posembrionario. Las dos últimas clases de caracteres se deben a cambios en las condiciones de desarrollo del organismo, y se diferencian únicamente por el grado en que hayan actuado estas condiciones. La influencia de las condiciones externas es tanto mayor cuanto antes las sufra el organismo; por eso su grado de heredabilidad es diferente.

Los caracteres innatos, producto de cambios producidos en el período embrionario de desarrollo, desempeñan, al parecer, un gran papel en la evolución de las formas orgánicas. El estudio de estas cuestiones en los animales vertebrados condujo a A. N. Sévertsov a su teoría de la *filoembriogénesis* (véase pág. 539).

A los caracteres innatos perteneece también la aparición de monstruosidades (véase pág. 116).

Por regla general, las monstruosidades no se heredan; en los libros se describen tan sólo casos aislados de familias en las que se repitió la polidactilia y la sindactilia [adherencia de dos o varios dedos de las manos (fig. 68) o de los pies entre sí]. La presencia en los hijos de una misma madre de semejantes defectos innatos puede deberse a cambios patológicos en su matriz. La repetición de las monstruosidades está relacionada con la repetición de las condiciones que les dieron origen.

Herencia en los microorganismos de los caracteres adquiridos.

Los ejemplos más claros de herencia de caracteres y propiedades adquiridos los podemos observar en las formas inferiores. Los microbios y virus gozan de una enorme capacidad de reproducción y adaptación, lo cual les ha permitido utilizar los alimentos y las condiciones de vida más diversas. Estas propiedades de los microbios y virus aparecieron en el proceso de su evolución y gracias a ellas conservan su organización al nivel de estructuras anteriores a la célula. Hace ya bastante tiempo que se conoce el hecho de que los microbios cambian en consonancia con la composición y las propiedades del medio nutritivo y de que los caracteres así adquiridos se acumulan en las generaciones sucesivas.

FIG. 68. Sindactilia.

Es el principio en que se basan las vacunas, que tanta aplicación tienen en Medicina. En 1796 el médico inglés E. Jenner propuso el método de vacunación contra la viruela. En la vacunación, el virus de la viruela natural inoculado a una vaca o ternero se modifica por la acción de las nuevas condiciones, transformándose en "virus de vaca", que no es patógeno para el hombre, pero que origina en él una *inmunidad activa* contra la viruela natural.

Las vacunas acabaron con las epidemias de viruela, que eran un azote para la humanidad.

Luis Pasteur recurrió ampliamente a la capacidad de los microbios para modificar sus propiedades cuando cambian las condiciones de desarrollo; eso lo llevó a su teoría de las vacunas atenuadas (1881). Pasteur descubrió la vacuna antirrábica.

El gran empleo que con fines curativos se hace de las sulfamidas y de los antibióticos[1] ha hecho ver que diferentes cultivos de los mismos microbios no ofrecen igual sensibilidad a estos preparados.

Investigaciones especiales revelan que a lo largo de varias generaciones los microbios se van adaptando cada vez más al aumento de concentración de los antibióticos. Se ha observado también que cambian los rasgos morfológicos, las propiedades bioquímicas, la patogenia de los microbios, etc. Es más, se ha puesto en claro que los microbios habituados a grandes concentraciones de antibióticos no pueden vivir en medios en que falten estas sustancias.

También se poseen datos semejantes de los protozoarios.

[1] Antibióticos, sustancias producidas por microorganismos que destruyen determinados microbios. Se utilizan con fines curativos (penicilina, estreptomicina, etc.).

Herencia en los vegetales de los caracteres adquiridos.

La condición fundamental que determina la aparición de variaciones en las plantas es la influencia directa del medio exterior, el cambio de clima y de alimentación.

Las condiciones de vida, al ser modificadas, pueden influír también en *un brote o yema* de la planta y dar lugar a determinados cambios *locales*. En tal caso, la yema o el brote adquieren nuevas propiedades, que no son características de la naturaleza del vegetal. Estos cambios vegetativos reciben el nombre de *mutaciones somáticas*.

Los ejemplos de dichos cambios, que son muy numerosos, se conocían ya en tiempos de Darwin (rosas dobles, suavidad de la piel en los melocotones, etc.). La variedad de manzana denominada "antónovka de 600 gr." (fig. 69) la obtuvo Michurin a partir de un esqueje modificado de la antónovka blanca de Moguilev.

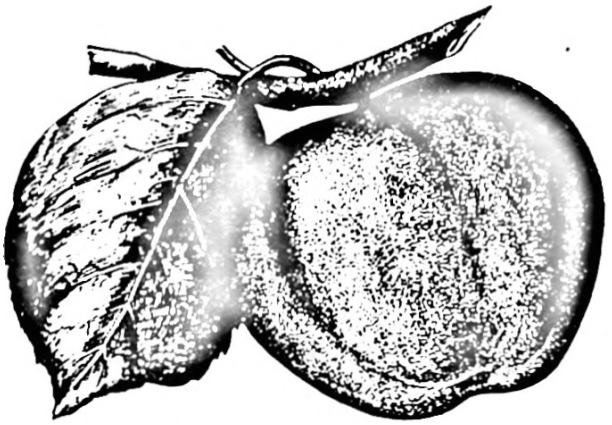


Fig. 69. Variedad de manzana "Antónovka de 600 gr.".

Frecuentemente, en la reproducción sexual, las mutaciones somáticas no se transmiten a los descendientes, sobre todo cuando los cambios afectan a alguno de los numerosos órganos iguales (por ejemplo, las hojas). El brote modificado que aparece puede originar una nueva variedad solamente en el caso de haber sido convertido en esqueje a su debido tiempo, para continuar de este modo su reproducción. De lo contrario, bajo la influencia de las sustancias plásticas de otras partes de la misma planta, puede perder las propiedades recién adquiridas. Ello se debe a que el brote modificado se nutre de las partes vecinas; en cambio, las sustancias plásticas específicas elaboradas por él no las utilizarán esas partes vecinas mientras tengan a su disposición sustancias alimenticias propias, ya que, pudiendo optar, *no la eligen*. El brote transformado no interviene en el metabolismo general de la planta, y los cambios adquiridos no quedan fijados en las células sexuales.

Herencia en los animales de los caracteres adquiridos.

Son muy numerosos los casos de herencia por los animales de caracteres adquiridos como resultado de la *influencia directa del medio exterior*. Por ejemplo, en los trópicos, la lana de las ovejas y el pelo de los perros y otros animales es menos abundante. En el Paraguay, los gatos son más pequeños, su pelo es corto y brillante y el rabo casi desnudo. Actualmente han perdido la capacidad de cruzarse con la raza europea originaria. En las latitudes frías los animales están protegidos por largo y espeso pelo.

Sin embargo, son más típicos entre los animales los cambios de comportamiento y organización resultantes del *uso de los órganos con la participación del sistema nervioso*.

I. P. Pávlov investigó el papel del sistema nervioso en el desarrollo de la acomodación en los animales superiores. Sus conclusiones confirman la posibilidad de transmitir a los descendientes las costumbres adquiridas a lo largo de la vida. La cría de perros viene también en apoyo de esta tesis. Los caracteres adquiridos por el adiestramiento acaban con el tiempo por transformarse en hereditarios. Por ejemplo, los perros de tiro heredan costumbres especiales, permanecen tranquilos con sus arreos, mientras que los de otras razas se acostumbran con dificultad a semejante adiestramiento. Las crías de los perros de muestra se sientan sobre los cuartos traseros sin necesidad de enseñarles a hacerlo. La ambladura[1] de los caballos es una forma de correr adquirida por el entrenamiento; sin embargo, al ser heredada, pasa a ser un carácter propio de determinada raza. El estudio de los caballos de carreras confirma que los descendientes de caballos famosos dan menos cantidad de *creaks* si nacieron antes de haber sido entrenados los padres, que los obtenidos después de un suficiente entrenamiento.

Cuanto más tiempo actúa la causa transformadora y cuanto mayor número de generaciones están sometidas a su acción, *más profundamente se incorporan los cambios logrados al desarrollo filogenético de determinada forma.*

Algunas veces resultan hereditarios caracteres que no se deben a la larga influencia de nuevas condiciones (por ejemplo, las lesiones de algunos sistemas y los cambios patológicos que producen). En este sentido, son interesantes los experimentos de Brown Sequard, que se han visto confirmados por investigaciones actuales (N. G. Bélenki). Brown Sequard cortó el nervio cutáneo-femoral y partes de la médula espinal, logrando con ello en los conejillos de Indias una epilepsia provocada que después se convirtió en hereditaria. Cortando determinados nervios, este investigador logró otros muchos cambios patológicos, que después se transmitían a los descendientes.

Por ejemplo, después de una lesión del simpático, observó que se cerraba el párpado y se modificaba el pabellón de la oreja; una lesión de la médula espinal provocaba la salida del globo ocular de la órbita (exoftalmia); las alteraciones en el nervio cutáneo-femoral originan la pérdida de las falanges de los dedos de la pata, etc. Al parecer, semejantes alteraciones del sistema nervioso son capaces de influir profundamente sobre el metabolismo general del organismo y el desarrollo de los descendientes.

Existen datos sobre el carácter hereditario de algunos *trastornos funcionales* del hombre. Entre ellos cabe citar la *hemofilia,* estado morboso consistente en una disminución de la coagulabilidad de la sangre, y el *daltonismo,* o trastorno en la percepción de los colores.

Se descubren casos de hemofilia esporádica, en la que está completamente excluido el carácter hereditario, y de daltonismo adquirido durante la vida. Estas anormalidades constituyen cambios ocurridos en la ontogénesis que afectan a funciones importantes del organismo.

Las causas de la hemofilia y el daltonismo, lo mismo que la esencia de estos trastornos, no han sido hasta ahora suficientemente estudiados.

Los cambios patológicos producidos durante la vida no suelen ser hereditarios, ya que, en la mayoría de los casos, las células reproductoras se defienden de las influencias exteriores desfavorables.

[1] *Ambladura,* forma de andar que tienen los caballos, moviendo a un tiempo el pie y la mano de un mismo lado.

Cuando los factores exteriores que conducen al desarrollo del proceso patológico se prolongan de generación en generación, se puede debilitar la base hereditaria. Los organismos jóvenes pierden estabilidad y requieren especiales cuidados.

Sin embargo, en este quebrantamiento de la herencia no hay predeterminación. Eliminando las condiciones propicias para el desarrollo del proceso patológico y creando un régimen de educación adecuado, la descendencia se fortalece y recobra el normal carácter conservador de la herencia; su vitalidad aumenta.

FORMAS DE MANIFESTARSE LA HERENCIA

K. A. Timiriázev dio una clasificación de las formas de herencia en la reproducción sexual y asexual (véase esquema de la pág. 156); esta clasificación se basa en un profundo estudio de los fenómenos hereditarios y de su variabilidad. Timiriázev distingue la herencia *simple* y la *compuesta.*

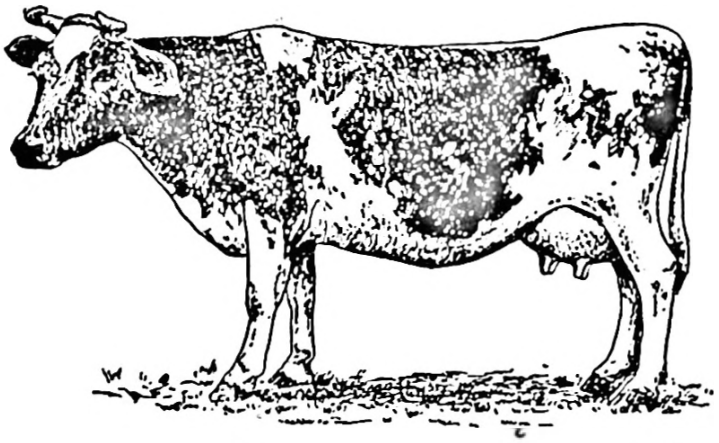


FIG. 71. Herencia mezclada. Color pío en los animales.

La herencia *simple* se refiere a los casos en que *en la reproducción interviene un solo genitor.* En este caso es cuando adquiere mayor grado el parecido de los hijos y la madre. Esta forma de herencia es corriente en la reproducción *asexual* de los organismos vegetales y animales. Timiriázev incluye también en la herencia simple la reproducción por el organismo de partes o de órganos enteros perdidos (*regeneración).* En los procesos regenerativos la herencia se revela en su forma más simple; el órgano reconstituido suele alcanzar la máxima semejanza con el primitivo. En la reproducción sexual, la herencia simple tiene lugar en la *partenogénesis.*

La herencia *compuesta* va unida a la formación de *mestizos* y presupone *la intervención en el proceso de reproducción de los dos genitores.* Esta herencia es característica de la reproducción *sexual;* sin embargo, también se puede presentar en la reproducción *vegetativa.* Darwin conocía ya la existencia de mestizos procedentes de injertos. Un claro ejemplo, que cita Darwin, es el citiso de Adam, obtenido por este jardinero parisiense al injertar una yema de citiso de flores rojas (*Citysus purpureus*) a otro de flores amarillas (*Citysus laburnum*) (fig. 70). Se formó un brote que tenía una serie de caracteres intermedios entre ambas especies. Pero entonces se desconocían aún las condiciones en que se desarrolla la hibridación vegetativa, y los seleccionadores no sabían aplicarla de una manera consciente; por eso, los híbridos vegetativos eran raros, su aparición era obra del azar.

La teoría de Mendel y Morgan, que después dominó en la ciencia, negaba totalmente su existencia. I. Michurin y sus continuadores no sólo demostraron la existencia de híbridos vegetativos, sino que elaboraron los

FORMAS DE LA HERENCIA (SEGUN K. A. TIMIRIAZEV)

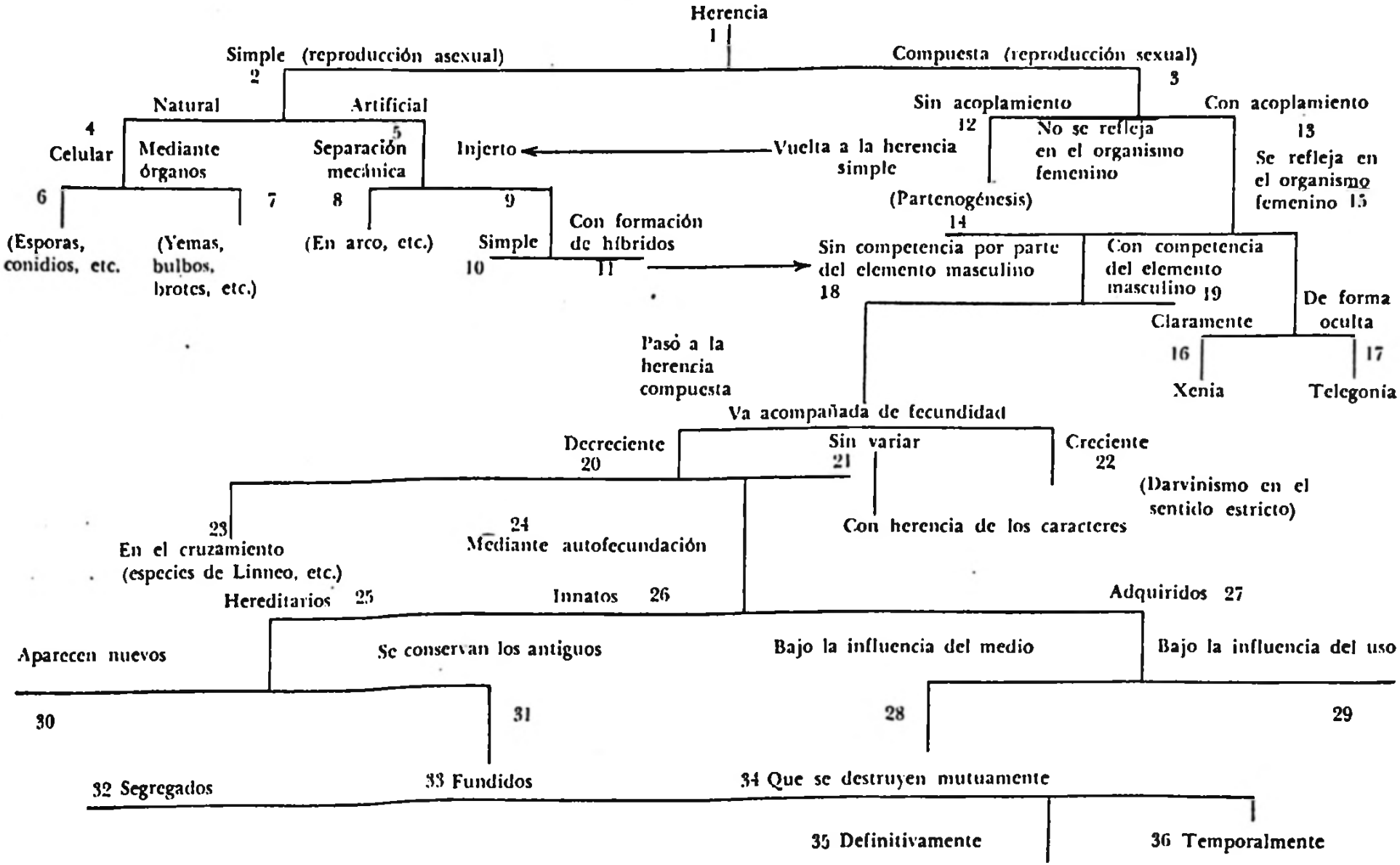


FIG. 70. *Cystisus Adami,* híbrido, resultante del injerto de *C. laburnum* y *C. purpureus.*

métodos para obtenerlos. Así se logró pasar experimentalmente *de la herencia simple a la compuesta.*

Formas de manifestarse la herencia compuesta.

En los casos de herencia compuesta (con hibridación sexual o vegetativa), el desarrollo de los descendientes híbridos puede tener lugar, como indica Timiriázev, *bien apareciendo nuevos caracteres* (30), *bien conservándose los antiguos* (31) de los padres. En ambos casos puede ocurrir que en los descendientes los caracteres se *segreguen* (32), que los caracteres de los padres se *fundan* (33) o que se *destruyan* mutuamente (34).

En el último caso, la desaparición del carácter de uno de los progenitores puede ser *definitiva* (35) o *temporal* (36), es decir, que vuelva a aparecer en las generaciones siguientes.

De conformidad con lo anterior, Timiriázev distingue tres formas fundamentales de herencia compuesta: *combinada* o *dividida, intermedia o fundida y con exclusión mutua o dominancia.*

1. La herencia *combinada* o *dividida* se distingue por la mezcla en los descendientes de caracteres de los progenitores.

FIG. 72. Mechón de cabellos claros en una cabeza de pelo moreno.

I. Michurin escribe: "... con frecuencia, en una misma rama, los caracteres de los frutos se desvían hacia los de la planta madre; en otra, los caracteres son los del padre, y en la tercera obtenemos frutos que no se asemejan por su forma a ninguna de las plantas de que derivan"[1].

Por lo tanto, los caracteres de los padres resultan separados en el espacio: unas partes del cuerpo del híbrido repiten los de un progenitor, otras, los del otro. Caracteres de ambos pueden presentarse incluso dentro del mismo órgano.

Un claro ejemplo de tal clase de herencia lo presentan las franjas de los pétalos de las flores (tulipanes, dalias) o los animales de color pío (fig. 71). Algunas veces se observa también este fenómeno en las personas: ojos de diferente color, mechones de pelo cuya coloración es también distinta (fig. 72). En algunos casos, la segregación de los caracteres de los padres en el híbrido puede alcanzar a células aisladas de su cuerpo. Por ejemplo, los estomas de la epidermis de las hojas tienen en las diferentes especies de vid forma muy especial (*Vitis labrusca* y *V. aestivalis*). Los híbridos presentan las hojas con estomas iguales a los del padre o la madre, y también con formas intermedias, a pesar que el aparato estomático procede únicamente de una sola célula (véase fig. 73).

[1] I. V. Michurin, Obras, t. I, 1939, pág. 602.

Este fenómeno se denomina *segregación vegetativa o somática*[1], puesto que se presenta al dividirse las células vegetativas (somáticas). La teoría michurinista explica este fenómeno dentro del plano general de los fenómenos de la herencia, según el cual los organismos híbridos, y por tanto las partes de su cuerpo, tienen respecto a cada carácter las posibilidades de desarrollo del padre y de la madre, posibilidades que cobran realidad según las condiciones del medio exterior.

Estas condiciones pueden no ser las mismas para partes iguales de los órganos del híbrido, y de ahí que unas se aproximen en su desarrollo a la madre, otras al padre, adquiriendo las terceras características intermedias o diferentes de las que aquéllos tenían.

2. *Herencia intermedia*: la fusión es la forma más simple y más frecuente de manifestarse la herencia. En este caso, el descendiente desarrolla caracteres de un tipo intermedio entre los de los padres. Timiriázev cita una serie de casos semejantes. Por ejemplo, la mielga común, cuyos frutos se asemejan a un sacacorchos de espiral muy arrollada y con flores de color azul-violeta; la mielga de flor amarilla los tiene en forma de hoz. El híbrido resultante del cruce de estas formas tenía los frutos en forma de espiral con 1,5 o 2 vueltas muy separadas y las flores de un raro color verde sucio. Esta coloración es una mezcla de jugo celular azul-violeta de una especie con los gránulos pigmentarios amarillos de la otra (fig. 74).

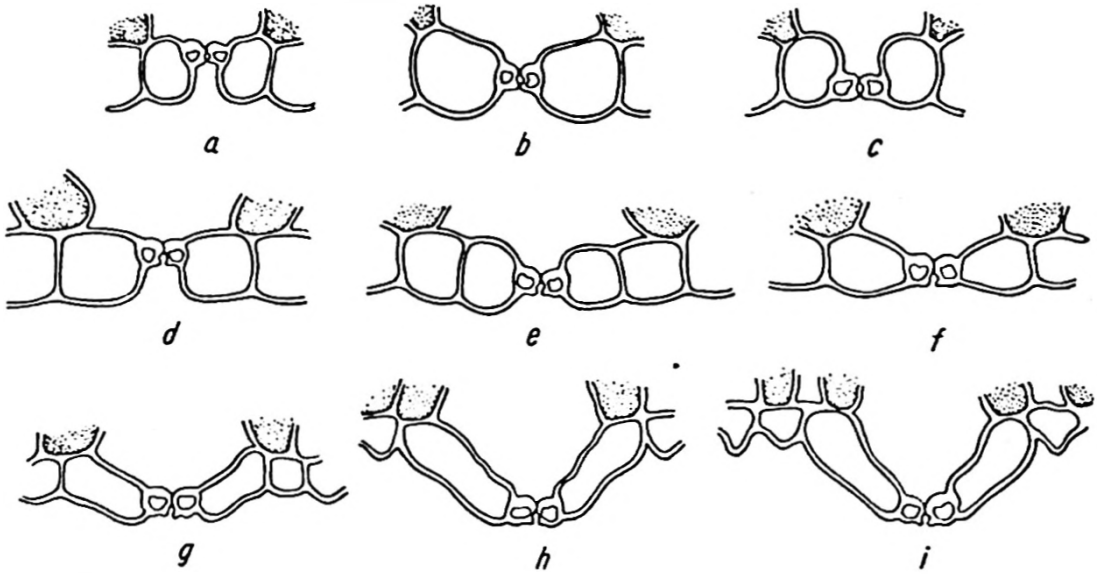


FIG. 73. Estomas de las hojas de la vid: *a, b, c,* estoma de la *Vitis aestivalis; d, e, f, g, h,* estoma de un híbrido de *V. aestivalis* y V. *labrusca; i,* estoma de V. *labrusca.*

Darwin cruzó patos del Labrador con pingüinos, logrando híbridos constantes que no se segregaron. Análogos resultados han sido obtenidos por M. F. Ivanov en el Parque Nacional de Askania Nova (Ucrania), al cruzar bisontes y uros con ejemplares de ganado vacuno, y también ovejas de lana burda y de vellón fino.

Los matrimonios mixtos de blancos y negros tienen hijos de un color intermedio. Sus descendientes suelen conservar la herencia intermedia.

3. En la herencia *con exclusión mutua* y destrucción (dominancia), los caracteres de los organismos que se cruzan no se combinan en el híbrido,

[1] Del griego *soma*, cuerpo.

FIG. 74 A. Herencia intermedia. Mielga común y amarilla (según K. A. Timiriázev): a la izquierda, mielga común; a la derecha, mielga amarilla; en el centro, mielga intermedia.

como sucedía en los primeros casos, sino que uno de ellos elimina al otro, *venciéndolo,* según expresión de Timiriázev. Esta forma de herencia presenta dos variantes. En un caso, el carácter eliminador vence *definitivamente* al otro y se conserva en los descendientes, como si no se hubiese producido ningún cruce. En el otro, el carácter *dominante* lo poseen únicamente todos los seres de la primera generación de híbridos. Al cruzarlos unos con otros, en las siguientes generaciones híbridas se observa la segregación de los caracteres. Eso significa que el carácter del segundo genitor es *recesivo*[1], es decir, que se elimina sólo *temporalmente* en los descendientes de la primera generación híbrida y vuelve a aparecer en los hijos de las siguientes generaciones de híbridos.

Los ejemplos de herencia con dominancia y desaparición definitiva en los descendientes de los caracteres del segundo progenitor (absorción), son muy numerosos. Michurin registró la *herencia materna absorbente* en el cruce de dos clases de azucenas (las *showicianum* y la de *tunberg*). A pesar de haber polinizado por segunda vez la primera generación de híbridos con polen de la planta padre (azucena de *tunberg*) no aparecieron en ninguna de las generaciones sucesivas los caracteres del padre. Timiriázev cita una serie de ejemplos de herencia materna, que describe Millardet en la hibridación de fresas.

Son conocidos también ejemplos de *herencia paterna absorbente.* La ha descrito un discípulo de Michurin, J. Yenikéeev, en el cruce de ciruelas de la variedad "cherezota" (madre) y la creada por Michurin "reina-claudia reforma" (padre). La herencia paterna absorbente ha sido señalada también por autores norteamericanos en cruces de plantas herbáceas.

La teoría michurinista considera los fenómenos de herencia absorbente consecuencia de una fecundación en la que la célula sexual de uno de los progenitores (de la madre o del padre) asimila por completo la célula sexual del otro.

El segundo caso de herencia con dominancia o exclusión mutua se produce cuando un carácter se elimina sólo *temporalmente* en el desarrollo de la primera generación híbrida; fue descrito por Ch. Naudin (1865) y G. Mendel (1866). Naudin describió, basándose en la herencia del color en la primavera, un tipo más general de herencia, cuando en la primera generación híbrida se funden los caracteres de los padres, para segregarse después en las generaciones siguientes, al cruzar entre sí los híbridos (ver fig. 74 B).

Naudin efectuó el cruce de primavera (fam. primuláceas) de flores blancas y rojas. La primera generación híbrida resultante de este cruce dio flores de color rosa, es decir, carácter intermedio. Al cruzarlas entre sí se obtuvo la segunda generación híbrida, en la que el 50 por ciento de los individuos manifestaba una herencia intermedia respecto al carácter estudiado, el 25 por ciento el carácter materno y el 25 por ciento el paterno. En los cruces de guisantes descritos por Mendel, la relación numérica establecida por Naudin de 1:2:1, de segregación de los caracteres en la segunda generación híbrida, se convirtió en 3:1, por dominar el de uno de los progenitores. Mendel, por ejemplo, cruzó guisantes de semilla amarilla con otros de semilla verde. Los descendientes de este cruce tenían únicamente semillas amarillas. La segunda generación híbrida produjo

[1] Latín *recessus,* separación.

una segregación: el 75 por ciento de las plantas tenían semillas amarillas y el 25, verdes. El mismo resultado obtuvo Mendel al utilizar la forma lisa y rugosa de las semillas. Si las semillas de los progenitores se diferencian en más de un par de caracteres, según Mendel la relación numérica de los individuos con caracteres maternos y paternos en la segunda generación híbrida debe venir expresada por la fórmula $(3:1)^n$, donde n es el número de pares de caracteres diferenciales de los padres. Estas leyes, puramente estadísticas, se cumplen cuando es elevada la cantidad de individuos procedentes de diferentes familias, sin tener en cuenta las condiciones de fecundación y desarrollo de los híbridos.

El análisis de los trabajos de Mendel sobre cruce de guisantes efectuado en distintas familias demuestra que las relaciones numéricas de la segregación de los caracteres en las siguientes generaciones híbridas están muy lejos de corresponder en sus experimentos a la proporción de 3:1.

Los experimentos efectuados por los científicos soviéticos con las mismas variedades de guisantes que utilizó Mendel y con otras plantas, indican que la dominancia de uno u otro carácter, así como la segregación de los caracteres en los descendientes, dependen de las condiciones de fecundación y del ulterior desarrollo. A la luz de estas investigaciones se ve que el concepto de carácter dominante y recesivo es relativo.

Un mismo carácter puede ser dominante o recesivo según las condiciones en que se realice el cruce y desarrollo de los híbridos.

Creando las condiciones necesarias para desarrollar el carácter deseado se puede *dirigir el proceso de la dominancia*. Variando de forma conveniente las condiciones de fecundación y desarrollo es posible obtener la segregación de los caracteres de los descendientes o por el contrario, obtener descendientes que no segreguen en las generaciones sucesivas.

En sus obras, los científicos soviéticos *han demostrado la segregación de caracteres también en los descendientes no híbridos* de variedades puras que se autofecundan. Este fenómeno se observa al trasladar estas variedades puras a condiciones climatológicas, geográficas, etc., a las que no están habituadas. Se pueden cambiar también los caracteres de los descendientes por injerto, cuando es imposible la libre elección del polen, como sucede, por ejemplo, en la fecundación con escaso número de granos, y también mediante otros procedimientos cualesquiera que produzcan el debilitamiento de la base hereditaria.

Nuevas formaciones en el cruzamiento.

El esquema de Timiriázev prevé también los casos en que el cruce da lugar a caracteres completamente *nuevos*, que faltaban en los padres. La *heterocis* (desarrollo más potente, mayor tamaño y aumento de la rapidez de maduración del híbrido en comparación con sus progenitores) es un fenómeno corriente en la hibridación. Está relacionado con el aumento de vitalidad de los descendientes híbridos. La doble herencia del híbrido amplía las posibilidades de adaptación de su desarrollo. El híbrido posee una base hereditaria debilitada y establece fácilmente nuevas relaciones con el medio exterior. Por eso, la formación de caracteres nuevos en el cruce no es una casualidad.

A eso se debe el que Michurin, al cruzar la vid concordia con la sil-

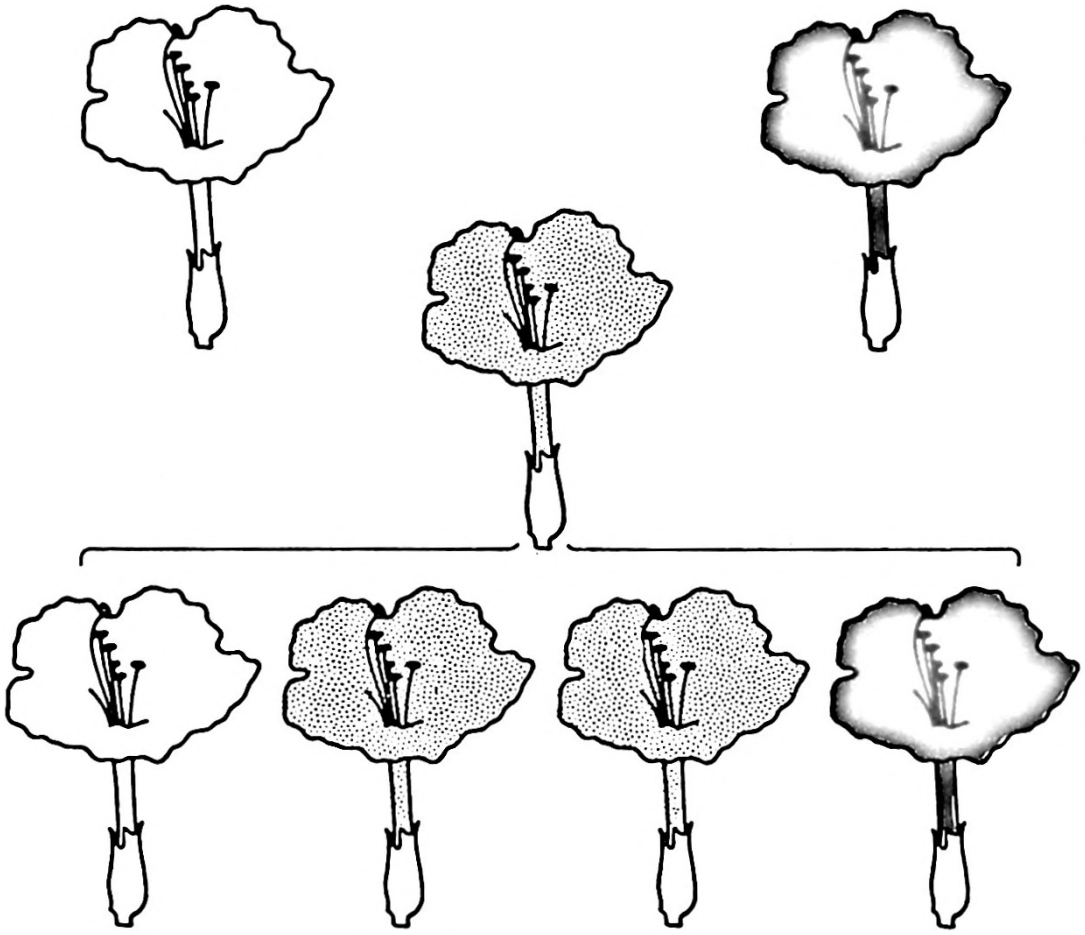


FIG. 74 B. Híbridos de dos variedades de dondiego de noche (*Mirabilis jalapa alba* y *rosea*). Flores de dos progenitores y de las generaciones primera y segunda de híbridos.

vestre del Amur, obtuviera una nueva variedad, "concord rusa", de cualidades superiores a las que le dieron origen (fig. 75).

Xenia y telegonía.

La clasificación de la herencia propuesta por Timiriázev indica la posibilidad de una gran influencia, que aparece en forma expresa, *xenia* (16), o en forma latente, *telegonía* (17).

Xenia son los cambios operados en los tejidos de procedencia materna bajo la influencia de la fecundación. Puede servir de ejemplo el peri-

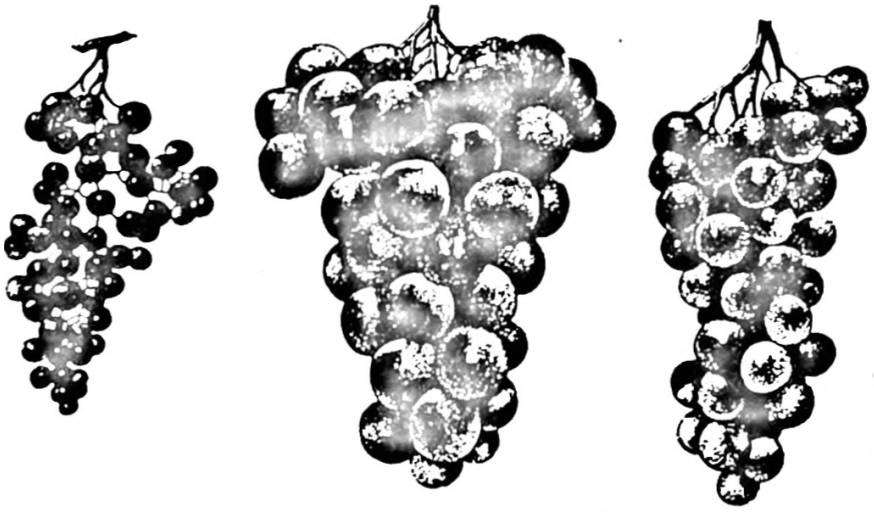


FIG. 75. Nuevas formaciones en el cruce: variedad michurinista de uva Concord rusa. A la izquierda, uva silvestre del Amur (padre); a la derecha, Concord (madre); en el centro, Concord rusa.

carpio, en el que se desarrollan semillas híbridas. El pericarpio, que procede totalmente de tejidos del organismo materno, se transforma en parte, adquiriendo caracteres del padre (fig. 76). Los frutos pueden ser incluso completamente diferentes a los de la planta madre.

Semejantes fenómenos son también conocidos entre las aves. La fecundación con machos de otra especie (en canarios, gallinas) da lugar a cambios en el color de la cáscara del huevo (que es un producto de secreción del oviducto).

La telegonía es la influencia de la primera fecundación sobre los descendientes que proceden de cruzamientos posteriores. En este caso no se observa en la madre ningún cambio morfológico visible.

Michurin señalaba que la fecundación de ejemplares jóvenes nacidos de semilla, en el primer año de su floración, con polen de plantas silvestres, puede influir negativamente sobre la calidad del fruto de cosechas posteriores, obtenidas por fecundación con polen de plantas cultivadas.

La explicación de la telegonía hay que buscarla en la asimilación por parte del organismo materno (joven aún en la primera fecundación) de gran cantidad de gametos masculinos, que no participan directamente en la fecundación, y, sobre todo, en la influencia posterior del metabolismo entre el fruto híbrido en desarrollo y el organismo materno.

La herencia con y sin competencia del elemento masculino.

Timiriázev tiene en cuenta la transmisión hereditaria en la fecundación sin (18) y con (19) competencia de los gametos masculinos. El primer caso se refiere a la participación de un número limitado de células sexuales masculinas homogéneas, lo que disminuye la selectividad del proceso fecundante: en el segundo, participan en este proceso gran cantidad de heterogéneos gametos masculinos. En el primer caso se observa una fecundidad *decreciente* (20), como resultado de los cruzamientos entre las especies y de la autofecundación: aunque se tiene presente también la posibilidad de un *aumento* (22) en la fecundidad. En 1870, A. T. Bolotov señalaba las ventajas de la fecundación cruzada de las plantas frente a la autofecundación, e insistía en la necesidad de cruzar periódicamente las plantas que se autofecundan para que sus descendientes den frutos con normalidad. Después se ocupó de esta cuestión T. Knikht (199). Darwin, basándose en la enorme cantidad de datos de que disponía, llegó a la conclusión de que, en estado natural, ninguna planta ni animal se limitan a autofecundarse. La autofecundación apareció en el proceso de evolución tan sólo como un procedimiento de reserva, para cuando no es posible la fecundación cruzada.

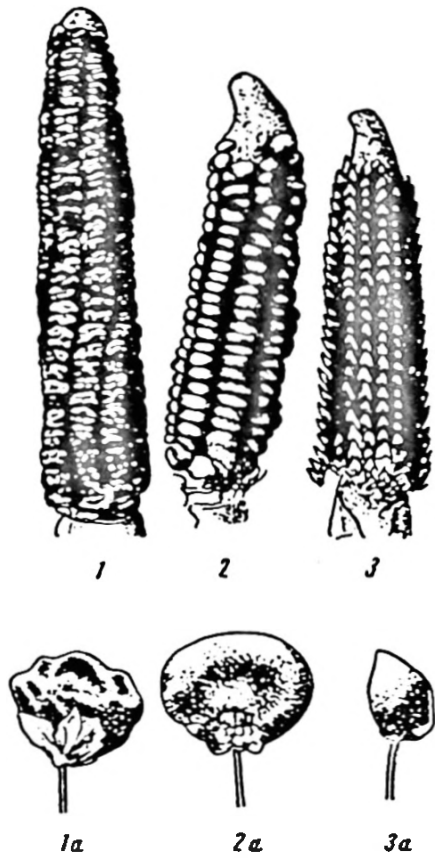


FIG. 76. Xenia en el maiz: 1, mazorca de maiz azucarero, fecundado con polen de la misma variedad; 2, mazorca de maiz azucarero, fecundado con polen de variedad almidonosa; 3, mazorca de maiz almidonoso, fecundado con polen de la misma variedad: 1^a, 2^a y 3^a, granos sueltos, algo aumentados.

Darwin estudió también el problema de la fecundidad decreciente de los híbridos de variedades o especies lejanas, llegando a la conclusión de que este fenómeno se observa únicamente cuando los híbridos obtenidos son poco numerosos, debido a lo cual, en el futuro se reproducen mediante autofecundación o cruzándose con individuos de parentesco próximo, lo que conduce a su degeneración rápida. La fecundación artificial con el polen de otra planta o por medio de cruzamientos con individuos que no pertenecen a la misma familia aumenta la fecundidad de los híbridos en las generaciones sucesivas.

T. Lisenko ha utilizado la fecundación cruzada como un *método para regenerar variedades de plantas autofecundantes*, las cuales, por regla general, son de corta vida.

Todas las variedades de trigo, guisantes, y otros cultivos de gran rendimineto que se reproducen por autopolinización, obtenidas por los seleccionadores mediante cruzamiento, pierden su valor a los diez o quince años, a causa de la disminución catastrófica de las cosechas, mientras que viven mucho las variedades de plantas de polinización cruzada. Lisenko ha propuesto el cruce dentro de la misma variedad como método para regenerar las variedades autopolinizantes. Para ello se extrae el polen de un gran número

de plantas, después de lo cual estas últimas se someten a la polinización anemófila libre; esto les permite revelar una gran selectividad en el proceso de la fecundación.

El método del cruce dentro de la misma variedad ha demostrado ser, en efecto, un medio para renovar la naturaleza de las plantas, para renovar variedades que habían degenerado a consecuencia de una prolongada autofecundación. Así se ha conseguido elevar la cosecha de trigo en un promedio de tres y más quintales por hectárea.

El beneficioso efecto del cruce dentro de la misma variedad se asegura gracias a la selectividad de los gametos, a la selección para el proceso fecundante de algunas células sexuales diferentes de otras.

Timiriázev atribuía gran importancia a la competencia de los gametos masculinos en la fecundación. La presencia de gran cantidad de éstos asegura la selectividad de este proceso. También Darwin señaló la acción selectiva de la planta madre respecto al polen. Michurin tuvo presente y utilizó la selectividad en el proceso fecundante a lo largo de su fructífera labor para crear nuevas especies frutales. La selección durante dicho proceso se ha mostrado en numerosos experimentos con diferentes plantas herbáceas anuales llevados a cabo bajo la dirección de Lisenko.

Este considera que la gran adaptación de las plantas silvestres a las duras condiciones de su existencia se debe en mucho a la selectividad del proceso de fecundación, circunstancia que él utilizó en sus trabajos de selección.

La libre elección del polen para la fecundación asegura una mejor adaptación de los descendientes a las condiciones en que han de desarrollarse y eleva su vitabilidad. En tal caso, siempre conviene que las plantas reciban una cantidad suficiente de polen y que este polen provenga del mayor número posible de individuos.

Esta idea se ha visto confirmada en el método propuesto por A. S. Musiiko, de polinización complementaria de las plantas que se fecundan por cruzamiento. El método de la polinización complementaria disminuye la superabundancia de grano en el centeno y el número de granos vacios en el girasol, eleva la cosecha y mejora la calidad de las semillas. La selectividad del proceso de fecundación ha quedado también demostrada en experimentos realizados con animales. Actualmente se dispone de abundantes datos experimentales relativos a esta cuestión.

Veamos un ejemplo: se cruzó una coneja con dos machos de distinta raza, de tal modo que un cruce siguió al otro. Entre los descendientes era fácil distinguir, por el color, los hijos de diferentes padres, con el claro predominio de los de uno de ellos. Después el conejo cuya descendencia predominaba fue alcoholizado, a continuación de lo cual se repitió el experimento. Esta vez, todas las crías pertenecían al segundo padre, aunque el primero no había perdido la capacidad de fecundar, ya que en otro cruzamiento con la hembra tuvo hijos. Los animales, lo mismo que las plantas, eligen, cuando hay diversos gametos, aquellos que fisiológicamente les corresponden más; cuando la elección es imposible, la fecundación corre a cargo de las células presentes.

En algunos casos, cuando se lleva a cabo la polinización con una mezcla de polen tomado de distintas variedades vegetales o la fecundación de las hembras con espermas mezclados, se observa la *herencia simultánea por los híbridos de caracteres de varias formas masculinas.* Este fenómeno fue descubierto en experimentos realizados con distintas plantas, tomates, guisantes, trigo, rábanos, maíz, algodón, etc. Se observó que la influencia de varios padres se revelaba en la primera generación o en las suce-

sivas. En unos casos, se traducía en la aparición entre los híbridos, de la primera o las siguientes generaciones, de individuos que reunían caracteres de distintos padres; en otros, por peculiaridades en la segregación de los caracteres. Son de gran interés los experimentos realizados con anima-

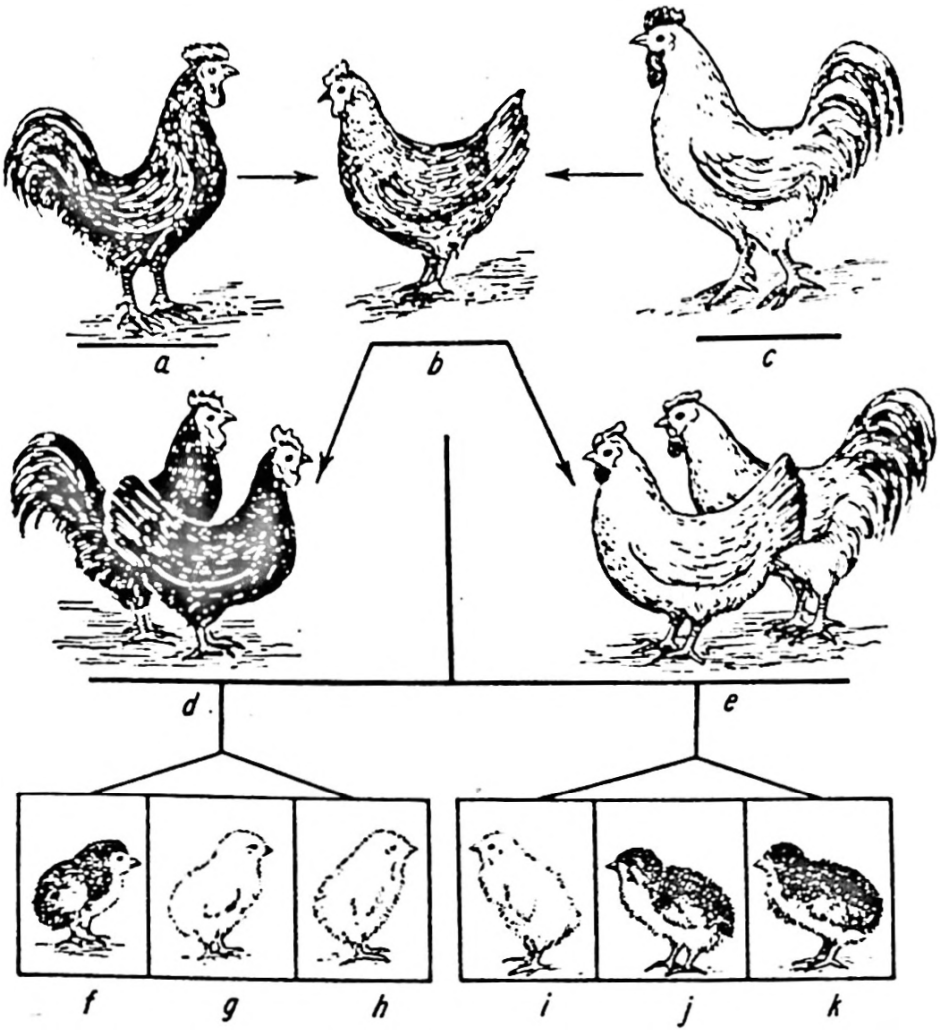


FIG. 77: *a*, gallo negro de raza austrolorpe, con cresta en forma de hoja; *b*, gallina de raza New Hampshire, de color pajizo, con cresta en forma de hoja; *c*, gallo de raza Wyandotte, con cresta en forma de rosa; *d*, híbridos negros con cresta en forma de hoja; *e*, híbridos blancos y con pintas con cresta en forma de rosa y hoja; *f*, híbridos negros con cresta en forma de hoja; *g*, híbridos blancos con cresta en forma de hoja; *h*, híbridos blancos con cresta en forma de rosa; *i*, híbridos blancos con cresta en forma de rosa; *j*, híbridos negros con cresta en forma de hoja; *k*, híbridos negros con cresta en forma de rosa.

les. M. M. Lébedev cruzó una gallina de raza New-Hampshire (color pajizo, cresta en forma de hoja) con dos gallos de diferente raza, con un austrolorpe (color negro, cresta en forma de hoja) y un Wyandotte (color blanco, cresta en forma de rosa). En la primera generación, parte de los híbridos tenían los caracteres de uno u otro gallo. Dentro de cada grupo de estos animales se llevó a cabo el cruce de gallinas blancas con gallos del mismo color y de negras con negros. Entre los descendientes de las

gallinas negras se obtuvieron individuos negros con cresta en forma de hoja e individuos blancos con cresta de esa forma y de forma de rosa. El color blanco y la cresta en forma de rosa los pudieron heredar los descendientes de las gallinas negras únicamente del segundo gallo (raza Wyandotte). En los descendientes del cruce de aves blancas semejantes al gallo Wyandotte, además de pollos blancos con cresta en forma de rosa se obtuvieron ejemplares negros de cresta en rosa y en hoja, es decir, que en este caso aparecen también caracteres del otro gallo, el de raza austrolorpe. (fig. 77).

Métodos para evitar las consecuencias perjudiciales de la fecundación entre individuos de parentesco próximo.

Los seleccionadores dejan que las plantas elijan libremente el polen solamente cuando los intereses del hombre no están en contradicción con la conveniencia de la misma planta. Sin embargo, es muy frecuente que los caracteres de interés económico no sean precisamente importantes para la vida del organismo. Es más, pueden representar para él una verdadera carga que el hombre les impone. Por ejemplo, la remolacha azucarera o forrajera no necesitan de raíces excesivamente desarrolladas; por lo tanto, si dejamos a estas plantas en libertad de elegir el polen para su fecundación, optarán por una clase menos valiosa desde el punto de vista económico. En dichas plantas hay que limitar las posibilidades de libre elección del polen. Con este objeto, los seleccionadores organizan zonas de aislamiento, utilizan el cruzamiento de individuos de la misma familia y recurren incluso a la autopolinización forzada de las plantas que se fecundan por cruzamiento. La fecundación entre individuos de la misma familia es también de gran importancia en la selección de animales, ya que este método es el que permite *acumular los cambios hereditarios útiles* del modo más rápido. Por ello, los investigadores soviéticos han elaborado una serie de procedimientos que eliminan los perjuicios de la autopolinización de las plantas que se reproducen por cruzamiento y de la fecundación de los animales pertenecientes a grupos próximos. Estos procedimientos tienden a aumentar la vitalidad de los descendientes, que disminuye a consecuencia del cruce de animales pertenecientes a grupos próximos. Todos ellos parten del principio teórico enunciado ya por Darwin, de que *incluso diferencias insignificantes en las condiciones de desarrollo de los padres resultan favorables para sus descendientes.*

Estos métodos consisten en cultivar, en condiciones distintas, plantas obtenidas por multiplicación de un mismo individuo para después someterlas a polinización cruzada.

Los descendientes de estas plantas tienen gran vitalidad y son muy fecundos.

La disminución de la fecundidad, la aparición de monstruos y la degeneración eran un verdadero azote para el ganado de raza. El científico ruso M. N. Ivanov propuso nuevos métodos de cría de este tipo de ganado, que neutralizan y eliminan el peligro de la fecundación entre individuos de la misma familia. Dichos métodos prevén dos clases de medidas: 1. *La cría de series de animales que no pertenezcan a un mismo grupo,* para luego realizar la fecundación entre los más próximos, al objeto de acumu-

lar la herencia deseada. 2. El perjuicio de la fecundidad entre animales próximos se neutraliza criándolos en condiciones distintas: en locales diversos, con alimentación diferente e incluso en granjas separadas. Por otro lado, de tiempo en tiempo conviene practicar el cruzamiento con ejemplares de las series paralelas, al objeto de renovar la sangre. Ivanov creó la raza de ovejas *rambouillet de Askania* y la de *cerdos blancos esteparios de Ucrania.*

Sus métodos sirven de base para todo el trabajo de selección de animales que se lleva a cabo en la Unión Soviética, desarrollados y perfeccionados por los zootécnicos soviéticos.

Ultimamente se ha comprobado que *desde el punto de vista biológico* conviene añadir al polen de las plantas o al semen de los animales *productos sexuales de otras especies* con las que no se cruzan las hembras. La incorporación a los productos sexuales propios de otros, tanto en la polinización obligada de las plantas que se fecundan por cruzamiento como en la fecundación de animales de razas próximas, eleva la capacidad fecundadora del polen propio y la fecundidad y vitalidad de los descendientes. Este método lo utilizan también ampliamente los seleccionadores soviéticos.

COMO DIRIGIR LA HERENCIA EN EL PERIODO DE DESARROLLO INDIVIDUAL

Señalábamos ya que la influencia de las condiciones exteriores es tanto mayor cuanto más joven es el organismo; son especialmente inestables el embrión y el organismo que se encuentra en las primeras etapas de desarrollo posembrionario. Los cambios producidos en éste se transforman en caracteres *innatos* y en cualidades del organismo. Fue Michurin quien mostró la inestabilidad de las fases tempranas de la ontogénesis, lo que le sirvió de base para resolver el problema de la aclimatación de las plantas.

Teoría de I. V. Michurin acerca de la aclimatación de las plantas.

Michurin demostró que la facultad de aclimatación no es igual para diferentes individuos; *las variedades adultas se modifican menos que las jóvenes; las que mejor se aclimatan son las de origen híbrido relativamente reciente.* Michurin consideraba que el único procedimiento para aclimatar en las regiones septentrionales las variedades del Sur es el *traslado gradual de las siembras* hacia el Norte, es decir, la acción sobre las primeras fases de la ontogénesis de condiciones de vida que van cambiando paulatinamente. A este respecto, Michurin tenía en cuenta los factores fundamentales que determinan la aclimatación de las plantas: la acción directa del medio exterior y la actividad de la selección natural. El método propuesto por Michurin —aclimatar las plantas meridionales en las regiones septentrionales— no es en realidad más que la repetición del proceso que se lleva a cabo en la naturaleza cuando una especie se traslada a nuevas regiones geográficas.

Michurin señala que las adaptaciones elaboradas por la selección natural no son absolutas, ya que las condiciones en que se realiza cada onto-

génesis no son iguales. Si los organismos estuvieran habituados únicamente a circunstancias rigurosamente precisas, no podrían desarrollarse en las cambiantes condiciones naturales y perecerían a la menor oscilación del medio en que viven.

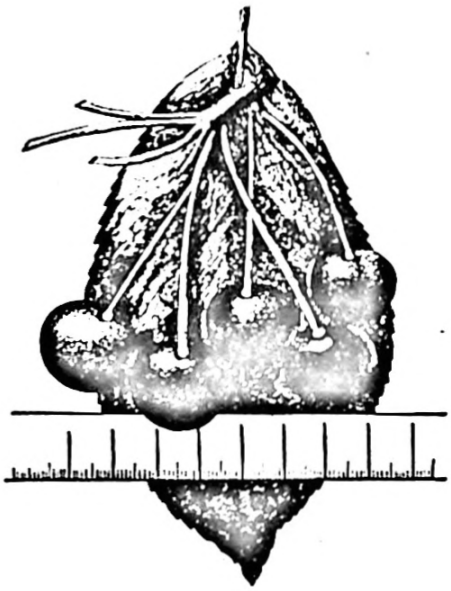


FIG. 78. Guinda "primer paso".

La selección natural permite que los organismos se amolden a determinadas fluctuaciones de las condiciones de vida en que puede subsistir y desarrollarse una u otra forma; sin embargo, el desarrollo de las plantas en uno de sus límites extremos no puede por menos de dejar huella en ellas.

La plasticidad de la planta en las etapas tempranas de su crecimiento le permite establecer nuevas relaciones con el medio y desarrollarse en condiciones algo diferentes a las anteriores. El desarrollo en estas nuevas condiciones de vida estampa su sello en las cualidades hereditarias, variando su naturaleza. Si las condiciones que originan cambios del organismo en determinado sentido se repiten en las generaciones sucesivas, los cambios *se acumularán en él filogenéticamente.* Al intensificarse los cambios en el medio exterior en un sentido, se acentuará el proceso, y se aumentará también por selección de los individuos que más se aparten de la forma anterior.

Partiendo de ello, Michurin produjo su famosísimo albaricoquero septentrional y su guindo septentrional "primer paso" (fig. 78). Estas variedades fueron creadas trasladando paulatinamente la siembra de huesos a regiones situadas cada vez más al Norte.

Así es como se desplazaron los límites geográficos del albaricoquero a 700 Km. hacia el Noroeste y el límite extremo de desarrollo del guindo a 500 Km. al Norte de los límites originarios de cultivo de estos frutales.

Michurin recomendaba la obtención de variedades de frutales para la región de Ussuri únicamente mediante la siembra.

Selección educativa planificada en la ganadería.

El método michurinista de selección se conoce con el nombre de *selección educativa planificada.* Este método se ha desarrollado también ampliamente en la ganadería.

Los continuadores de la teoría de la herencia de Mendel y Morgan consideraban que únicamente por medio del cruce es posible obtener una nueva raza de animales. Los trabajos de los seleccionadores soviéticos demuestran que se pueden lograr nuevas razas de animales, a partir de las ya existentes, eligiendo las condiciones que favorecen el desarrollo de los cambios en una determinada dirección y seleccionando para reproducirlos los ejemplares que más se desvían. Por ejemplo, la más productiva raza de ganado vacuno, la de Kostromá (fig. 79), se obtuvo a partir de los rebaños iniciales del sovjós Karaváevo, en primer lugar, gracias a la *ali-*

mentación adecuada de los animales durante el período de crecimiento, desarrollo y rendimiento; en segundo lugar, desempeñó un importante papel el *masaje regular de las ubres* y un *ordeñado intenso y adecuado;* en tercer lugar, el *cuidado* conveniente y la *educación* oportuna y, por último, la acertada *selección de las parejas de progenitores.* para la reproducción.

Las vacas del rebaño originario del sovjós Karaváevo daban anualmente por término medio de 3.000 a 3.500 litros de leche, cifras que en los mejores ejemplares llegaba a 4.500 ó 5.000 litros. Veinte años de acumulación sistemática y de fijación de los cambios útiles mediante medidas zootécnicas y de selección desarrollaron las propiedades que han convertido las vacas de Kostromá en una raza muy productiva. Algunos ejemplares dan diariamente más de 60 litros de leche y al año hasta 18.000 litros. Sus ubres se han desarrollado hasta alcanzar la gigantesca cifra de 2 metros de diámetro.

Transformación de la naturaleza de las plantas anuales durante el estadio de desarrollo individual.

Los caracteres y las propiedades de las plantas se forman basándose en sus fases de desarrollo. Después de un detallado estudio de las condiciones en que transcurren los estadios del desarrollo individual de diversas variedades de plantas, T. Lisenko planteó con toda amplitud el problema de modificar la naturaleza de las plantas.

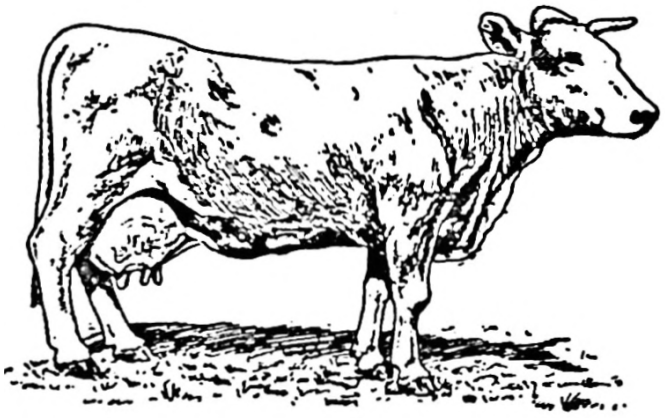


FIG. 79. Vaca de raza Kostromá.

Lisenko puso en claro los límites entre los cuales oscilan estas condiciones y *obligó a las plantas a recorrer las fases de su desarrollo dentro de los límites posibles de éste.*

Es así como se ha logrado hacer avanzar notablemente hacia el Norte muchos vegetales de clima cálido, como el algodonero, el sésamo, etc.

Las diferencias del período de hibernación en los cultivos primaverales y otoñales no se limitan a distintos grados de disminución de la temperatura y a una duración más o menos prolongada de su influencia, sino que abarcan todo un complejo de condiciones. En este sentido les corresponde un importante papel a las condiciones llamadas de *iluminación otoñal.* Por ejemplo, para que el trigo, que en determinadas condiciones locales es incapaz de invernar, adquiera resistencia al frío, Lisenko recomienda que se empiece por debilitar su herencia mediante la siembra al comienzo de primavera de semillas, sometidas después a bajas temperaturas, para lograr la resistencia al frío; de acuerdo con las condiciones locales, se habrán de sembrar en otoño las semillas obtenidas, o lo que es más sencillo, utilizar directamente para la siembra otoñal la variedad *marzal.*

Los organismos así obtenidos son muy plásticos y maleables; reconstruyen, como si dijésemos, su patrimonio hereditario.

Estas plantas se comportan como verdaderos híbridos sexuales, al producir descendientes con caracteres muy diversos. Después de pasar durante varios años el período de hibernación en condiciones nuevas, adquieren estabilidad.

La transformación de la naturaleza de las plantas puede realizarse también en el estadio de *iluminación.* Así se hizo, por ejemplo, con el mijo, y dio como resultado que avanzasen notablemente al Norte, hacia regiones que tienen un día de luz prolongado, los límites de crecimiento de este cultivo.

La teoría michuriniana señala *dos caminos* para la creación de nuevas razas de animales y variedades de plantas. El primero consiste en elegir las condiciones de desarrollo más favorables: para el ganado, mejorar la alimentación, el cuidado y el ordeñado y practicar el masaje de las ubres; para las plantas, una técnica agrícola muy precisa. De esta forma se logra mejorar lentamente, pero sin interrupción, las razas de los animales y las variedades de plantas.

El segundo camino, con efectos más rápidos, es el de *quebrantar* la base hereditaria eligiendo condiciones que obliguen al organismo a apartarse de la vía corriente de desarrollo establecida por su pasado filogenético; esto puede lograrse *modificando bruscamente sus condiciones de desarrollo, por una fecundación forzada, la hibridación* con individuos lejanos, etc.

Para obtener el cambio que se busca no basta con quebrantar la base hereditaria; hay que *fijar* con acierto el cambio logrado, dirigir la variabilidad en un sentido determinado. La teoría de la selección planificada educativa es lo fundamental de la teoría michuriniana. Es la base de todo el trabajo práctico de selección que se realiza en la Unión Soviética.

COMO DIRIGIR LA FORMACION DE CARACTERES EN LOS HIBRIDOS

Leyes que rigen la formación de los caracteres en los híbridos.

I. Michurin estudió las causas por las que en el organismo se manifiestan las diferentes formas de herencia compuesta estudiadas en páginas anteriores, y elaboró los métodos que permiten dirigir la formación de caracteres por hibridación.

Según Michurin, las leyes que rigen la herencia en la hibridación son las siguientes: 1) se heredan aquellos caracteres y propiedades de los padres que *encuentran las mejores condiciones para su desarrollo en un lugar concreto;* 2) gozan de una mayor fuerza hereditaria (de transmisión de sus caracteres) las *especies puras* (salvajes, silvestres), que no han sido sometidas a un cruce previo; 3) las variedades, sobre todo de *origen reciente,* tienen, relativamente, *menor fuerza hereditaria;* 4) los *híbridos,* entre variedades de una misma especie y, sobre todo, los *híbridos entre distintas especies* gozan de la máxima plasticidad, es decir, son los más capaces de desviarse en su desarrollo; 5) la fuerza de la *transmisión hereditaria se debilita cuando los padres proceden de lugares lejanos;* 6) el tiempo de existencia de una variedad es un aspecto muy importante, que determina la fuerza de las transmisiones hereditarias: las *variedades antiguas son muy conservadoras;* 7) los *padres adultos* (pero no ancianos) *transmiten sus caracteres de una forma más estable que los organismos jóvenes;* 8) el *es-*

tado de vitalidad y la salud de los padres en el momento de la fecundación son un aspecto importante para la determinación de la herencia.

Elección de las parejas de progenitores para el cruzamiento según Michurin y dirección del desarrollo de los caracteres en los híbridos.

Según el plan que Michurin se trazó previamente para alcanzar en los descendientes el predominio de tales o cuales caracteres, lo primero que hubo de tener en cuenta fue la elección de las parejas de progenitores al realizar el cruzamiento, el origen de las variedades, su tiempo de existencia, la edad de los padres, las condiciones de desarrollo de los híbridos, etc. Por ejemplo, se propuso crear, basándose en la variedad meridional *béret royal*, un peral local, que conservara las maravillosas cualidades de la variedad elegida, pero que, al mismo tiempo, tuviese la suficiente resistencia al frío para crecer en la zona media de la Unión Soviética. Al parecer, lo más sencillo en este caso hubiera sido cruzar el peral *béret royal* con la variedad silvestre local "dichok", que es resistente a las heladas.

Sin embargo, Michurin pensó de otra manera. El peral "dichok" es una variedad que se ha desarrollado a lo largo de la historia y que biológicamente se ha adaptado a las condiciones locales. Además, como todas las formas silvestres, es muy conservadora en cuanto a la herencia. Por tanto, cabía esperar que tal cruce proporcionase unos descendientes muy próximos al "dichok" local, en los cuales todas las propiedades de la variedad cultivada quedasen totalmente eliminadas.

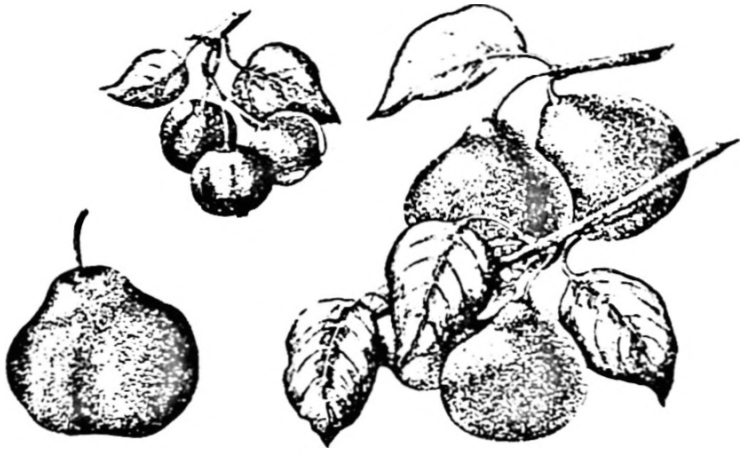


FIG. 80. Béret de invierno Michurin. A la izquierda, béret royal (padre); en la parte superior, pera silvestre de Ussuri (madre); a la derecha, béret de invierno Michurin.

Dicho con otras palabras semejante cruce representaría el *dominio completo* de los caracteres y propiedades de la forma silvestre.

Considerándolo así, Michurin no utilizó el "dichok" local sino una forma resistente a las heladas, que procedía de *otra región*. Como segundo componente para el cruce eligió el peral silvestre de Ussuri. El resultado de semejante cruce fue un híbrido que no encontró en su desarrollo condiciones que favorecieran el predominio de los caracteres de uno de los progenitores, pero que, convenientemente educado, pudo desarrollar los caracteres de las dos variedades orgánicas en la combinación necesaria (fig. 80)

Al elegir las parejas de progenitores, Michurin *reforzaba* o *debilitaba* conscientemente la fuerza de la transmisión hereditaria de los caracteres de uno de los padres. Por ejemplo, el transplante al cabo de poco tiempo o la escasez de agua disminuyen, como demostró Michurin, la fuerza de la transmisión de los caracteres por herencia.

Michurin sometió los híbridos a una determinada *educación.* La acción de las condiciones del medio se revela especialmente *en la fase más temprana,* ya durante el desarrollo de las semillas híbridas en el organismo materno. Sobre ello influye considerablemente el estado del terreno en el año del cruzamiento (humedad, abono), y también la temperatura ambiente. Por ejemplo, una primavera templada y no muy húmeda favorece el desarrollo de los caracteres de la variedad cultivada. Tiene gran importancia la *elección de la flor* para la polinización y el lugar que ocupe en el organismo materno. La colocación de las flores cerca de las ramas verticales principales y en la parte iluminada favorece el desarrollo de las propiedades de la planta cultivada.

Según señaló Michurin, el *modo de guardar las semillas,* circunstancia al parecer trivial, es un importante factor en el carácter de la naturaleza del híbrido.

Los reiterados experimentos de Michurin daban siempre el mismo resultado: al sembrar las semillas híbridas en estado semiseco, dominaban las propiedades del progenitor silvestre; al sembrarlas en otoño, inmediatamente después de extraerlas del fruto, dominaban las propiedades del progenitor cultivado. Eso sirvió a Michurin de base para elaborar procedimientos especiales de conservación de las semillas.

Después del brote, la alimentación de la planta es esencial en la formación de los caracteres de los híbridos. Una alimentación abundante y un crecimiento en buenas condiciones favorecen en los híbridos el desarrollo de las propiedades del progenitor cultivado. La falta de alimentación u otras necesidades de la planta recién nacida la acercan irremisiblemente al progenitor más silvestre.

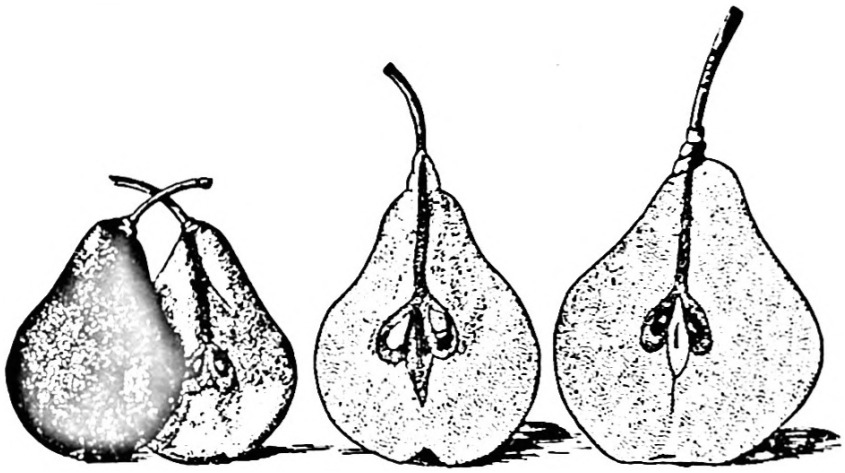


FIG. 81. Los frutos de diferentes cosechas adquieren gradualmente las cualidades características de la variedad. A la izquierda, una pera "béret pobieda" de la primera cosecha; a la derecha, un fruto "béret pobieda", que ha alcanzado ya las cualidades características de esta variedad; en el centro, una pera "béret pobieda" de la quinta cosecha.

El desarrollo de uno u otro carácter puede ser diferente en distintos períodos de la vida del híbrido; por ejemplo, al principio puede asemejarse por alguno de sus caracteres a uno de los padres, y después, al cambiar las condiciones de vida, inclinarse por el mismo carácter hacia el otro progenitor.

I. Michurin cita un ejemplo de como influye la composición del suelo en el cambio de la dirección del desarrollo de los caracteres —primeramente observada— en los híbridos En su huerto realizó el cruce de un cerezo de Samara con otro de Vladímir. Se proponía obtener una variedad que poseyese el dulce sabor que caracteriza a la última clase de cereza; pero los híbridos se desviaron claramente hacia el cerezo de Samara: sus frutos no tenían las cualidades del cerezo de Vladímir. Entonces, Michurin se procuró cierta cantidad de tierra de los alrededores de Vladímir y la añadió al terreno en que estaban creciendo los híbridos. Y entonces todos los híbridos que recibieron esa tierra se desviaron en su desarrollo hacia el progenitor de Vladímir, y los frutos adquirieron el sabor dulce.

Por lo tanto, los caracteres no se heredan ya formados, sino que se desarrollan. La teoría michurinista no comprende la herencia de un modo estático, sino como un proceso en movimiento.

Los caracteres de las plantas vivaces se forman a lo largo de una serie de años, y los frutos de diferentes cosechas no son iguales (fig. 81). Cada cruce debe ser estudiado de forma individual, teniendo en cuenta todas las características biológicas de los individuos que intervienen en él.

Para cruzar plantas meridionales cultivadas con otras menos cultivadas, pero resistentes al frío, Michurin tomaba polen de una planta joven en primera floración; como madre elegía un árbol que ya hubiese dado frutos, teniendo en cuenta que la planta madre no debe proceder de injerto, sino que ha de tener raíces propias. Otras veces, por el contrario, tomaba como madre una variedad silvestre o poco cultivada, o bien un híbrido joven, obtenido entre diferentes clases de estas variedades y que estuviese en la primera floración, y tomaba el polen de un árbol ya adulto, de una variedad cultivada desde bastantes generaciones. En tales casos dominaban, por regla general, los rasgos del padre (fig. 82). Si a las plántulas se les daba una alimentación abundante, aunque el efecto se intensificaba, las plantas se hacían más delicadas; y así los híbridos no se limitaban a desarrollar las cualidades del padre como planta cultivada, sino que también soportaban mal el frío. Estas plantas se helaban en los inviernos rigurosos. Por

FIG. 82. Las formas viejas y los progenitores de más edad se caracterizan por ser muy conservadores desde el punto de vista hereditario. A la izquierda, una manzana Calville blanca, de la antigua clase (padre); a la derecha, un ejemplar joven (madre) variedad china; en el centro, una Calville china (variedad de Michurin).

eso, Michurin recomendaba en tales casos una educación "espartana" de los híbridos jóvenes, en tierras pobres, empezando a abonar y a dar a las plantas alimentación complementaria solamente después de haber entrado éstas en la fase de fructificación.

Según las condiciones que para su desarrollo encuentre el organismo híbrido, aparecerán en él los caracetres propios, que podrán *asemejarse a los del padre o de la madre o de antecesores más lejanos,* pero pueden aparecer también *nuevos caracteres,* que no se daban en las líneas de sus progenitores. Michurin afirma que ningún cruce se repite, por no ser posible repetir totalmente las condiciones presentes en la fecundación y el desarrollo ulterior del híbrido.

Los individuos de la primera generación híbrida nunca se asemejan por completo entre sí en sus caracteres; son heterogéneos en mayor o menor grado, pues, como indicó Darwin, incluso ni siquiera los mellizos procedentes del mismo huevo son organismos idénticos; por lo tanto, las diferencias entre descendientes sucesivos de los mismos padres han de ser aún mayores.

El cruce entre razas diferentes confirma la tesis michurinista de que el medio ambiente es la causa de su variedad. La consecución de determinadas condiciones permite dirigir el desarrollo de los híbridos, llevándolo por un cauce determinado. La historia del desarrollo de los animales agrícolas confirma plenamente la veracidad y el valor biológico general de los principios de la teoría de Michurin sobre la hibridación.

El cruce entre razas diferentes confirma la tesis michurinista de que en los descendientes dominan los rasgos de las razas más antiguas y de los padres más adultos, sin olvidar, claro está, la enorme importancia que para el desarrollo de los caracteres de los híbridos tienen las condiciones en que se mantiene a los animales y su alimentación.

El experimento de cruzar ovejas merinas con diferentes razas ha dado casi siempre iguales resultados, la preponderancia de los caracteres de las merinas. Algunos autores afirman que en ciertos cruces los caracteres de estas razas son incluso más vigorosos en los descendientes. Ello se debe a que las ovejas merinas son una de las razas más antiguas y se han mantenido siempre puras durante la reproducción. El cruzamiento de la raza más antigua de ovejas rusas, las de Karákul, goza de una fuerza incomparablemente mayor para la transmisión hereditaria de sus caracteres. El cruce de cabra de Angora con la corriente da descendientes, el 90 por ciento de los cuales se aproximan mucho a la primera. Hechos semejantes tienen lugar cuando se cruzan diferentes razas de caballos y de ganado vacuno.

El estudio de la formación de las razas más conocidas de origen más bien reciente, demuestra que en todos los casos, sin excepción, sus fundadores habían sido elegidos entre animales adultos. Por ejemplo, el fundador de la raza de caballos de carreras ingleses, fue a parar a la yeguada a los 20 años. Se le apareaba con sus hijas, nietas, etc, es decir, que, por regla general, las hembras eran más jóvenes, lo que permitió crear una línea determinada en que los caracteres paternos se revelaron con gran fuerza.

Todo lo que se estima en los animales, la calidad de la carne y el tocino, la cantidad de leche, la velocidad, las aptitudes para la caza, la calidad de la lana, depende *directamente de las condiciones de educación, alimentación y entrenamiento.* Si no se dan las correspondientes condiciones de vida, no pueden desarrollarse estos caracteres.

Elección de las parejas de progenitores en las plantas anuales según el análisis de los estadios hechos por Lisenko.

Partiendo de las tesis de la teoría michurinista y de su propia teoría de los estadios del desarrollo en las plantas anuales, Lisenko ha enunciado

una teoría de selección de las parejas de progenitores para cruzar plantas herbáceas anuales. Se basa en analizar previamente, según los estadios del desarrollo, las parejas de genitores candidatos al cruzamiento.

Todos los caracteres y cualidades de las plantas se van acumulando en los estadios del desarrollo individual. Si se ha perturbado la base del desarrollo de los caracteres, es decir, si los estadios por que han pasado las plantas no han transcurrido con normalidad, sus caracteres y propiedades no podrán desarrollarse normalmente. En esto se funda la labor de Lisenko. Para obtener una forma de trigo que madure con rapidez y al mismo tiempo dé buena cosecha en una determinada comarca, realiza el previo análisis de los estadios de una serie de variedades de trigo y *pone en claro la causa* de su madurez tardía en las condiciones de desarrollo propias de dicha comarca.

Con este objeto las plantas se siembran a la vez en el campo y en el laboratorio, donde los estadios del desarrollo individual transcurren en condiciones óptimas.

Comparando los estadios del desarrollo en el campo y en el laboratorio se puede aclarar la causa de la madurez tardía en esa comarca.

Si en el laboratorio se acelera uno de los estadios de desarrollo y en el campo se realiza con la misma rapidez, esta variedad puede ser elegida para el cruce. Las *variedades que se eligen son aquellas cuya madurez tardía en las condiciones propias de la comarca dependen de causas diferentes.* Por ejemplo. si una variedad se muestra tardía por haberse prolongado más de lo debido el estadio de hibernación, habiendo transcurrido normalmente el de iluminación, el otro componente del cruce puede ser una variedad cuya maduración tardía en esa comarca se deba al retraso de este último estadio, pero que cubra normalmente el de hibernación. El zigoto resultante del cruce de ambas variedades poseerá en su desarrollo las posibilidades de adaptación de ambos progenitores.

Dentro de esa comarca, los híbridos *adquirirán posibilidades reales para que los estadios de hibernación e iluminación transcurran rápidamente.* Poseerán una base hereditaria sin los puntos débiles de desarrollo que tenían los padres y realizarán su ciclo vital *con más rapidez que éstos.* Es así como Lisenko ha logrado obtener variedades tempranas de trigo, cebada y sésamo a partir de otras de maduración tardía. Los trabajos de Lisenko son la *base teórica del fenómeno de heterocis* en la hibridación, es decir, cuando los caracteres se desarrollan en los descendientes mejor que en los padres, y de *la aparición de nuevos caracteres* en los híbridos.

Por tanto, el análisis de los estadios propuesto por Lisenko revela todos los lados positivos y negativos de la naturaleza de las plantas, permitiendo combinar las propiedades deseadas y eliminar las diferencias en el desarrollo por medio de una elección consciente de las parejas de progenitores que han de cruzarse.

El método para elegir estas parejas, basado en el análisis biológico de los estadios, ha revolucionado los trabajos prácticos de selección. Antes los seleccionadores tenían que invertir de 10 a 15 años para obtener una nueva variedad de cereal. El método de Lisenko permite reducir este tiempo a 2 ó 3 años.

METODOS PARA SUPERAR LA RESISTENCIA AL CRUZAMIENTO EN LA HIBRIDACION LEJANA

La capacidad de los diferentes organismos para el cruzamiento depende, por lo general, directamente del grado de su parentesco taxonómico. Así, los representantes de diferentes variedades de una misma especie se

FIG. 83. Cerapadus. A la izquierda, cereza ideal (forma materna); a la derecha, guinda japonesa (forma paterna); en el centro, cerapadus híbrido obtenido del cruce de las dos especies.

cruzan fácilmente, mientras que los representantes de especies distintas no se cruzan o lo hacen con dificultad. Aun es más difícil el cruce entre individuos que pertenecen a distintos géneros. La causa de la resistencia al cruce de plantas que pertenecen a categorías sistemáticas muy lejanas es la gran diferencia existente entre ellas.

Michurin se ocupó ampliamente del problema de la hibridación lejana, que resolvió basándose en el estudio de las leyes de desarrollo de las plantas y eligiendo las condiciones adecuadas que favorecen la fecundación. Logró obtener no sólo híbridos interespecíficos, sino también entre distintas familias. Obtuvo híbridos de cerezo cultivado y silvestre, los llamados "cerapadus" (fig. 83), de albaricoquero y ciruelo, de almendro y melocotonero, etc.

Todos los híbridos obtenidos por Michurin obedecían a un plan preconcebido y son de gran interés práctico. En cada caso concreto, el emi-

nente experimentador ponía en claro las causas que motivaban la resistencia al cruce, encontrando siempre el modo de superarlas. Logró obtener híbridos a partir de formas sistemáticamente muy lejanas, a pesar de que la ciencia oficial lo consideraba teóricamente imposible.

Michurin consideraba que la condición fundamental para lograr la hibridación lejana, cuando el cruce no se verifica, consiste en *debilitar previamente la base hereditaria.* Uno de los modos de lograrlo es la hibridación entre variedades de la misma especie.

FIG. 84. Aproximación vegetativa del serbal con la pera.

Michurin recomendaba en calidad de planta madre un *híbrido joven nacido de semilla,* en el período de su primera floración; se obtienen también buenos resultados si ambos progenitores son de origen híbrido relativamente reciente y proceden de *variedades geográficamente lejanas.* Antes de la hibridación, Michurin aplicaba a las parejas métodos educativos especiales, influyendo también sobre su sistema reproductor en el momento de la fecundación.

A continuación se describen los tres métodos suyos, para vencer la resistencia al cruzamiento, que han alcanzado más fama y que más se utilizan en la práctica.

1. *Método de la aproximación vegetativa.* Se basa en la educación de las plantas elegidas para el cruce en el *sentido de aproximarlas a la naturaleza.* Para ello se las somete a una aproximación vegetativa previa, es decir, se realiza con ellas un injerto. Por ejemplo, se injertan a la corona de un peral adulto esquejes de un año de edad de serbales híbridos procedentes de semilla, obtenidos por el cruce de variedades próximas. Al asimilar las sustancias plásticas[1] elaboradas por el peral, al mismo tiempo que le ceden los productos de su asimilación, las formas híbridas jóvenes cambian tanto que, transcurridos unos años de vida conjunta, resulta posible cruzarlos con éxito con el patrón, el peral (fig. 84).

2. *Método del "intermediario".* Consiste en lo siguiente: ante la imposibilidad de cruzar determinadas formas vegetales, se busca otra, que se

[1] Sustancias plásticas, productos de la asimilación.

cruza con una de ellas. El híbrido así obtenido es inestable, su base hereditaria está quebrantada, y por lo tanto se cruza con relativa facilidad con la segunda forma. El tercer componente del cruce, el híbrido, es un eslabón intermedio que une ambas formas. El método del "intermediario" lo utilizó Michurin cuando trataba de crear en la zona central de la U. R. S. S. un melocotonero resistente al frío.

El almendro silvestre, que es la forma local resistente al frío más próxima al melocotonero, no se cruza con el melocotonero cultivado. Pero Michurin logró el cruce de dos formas lejanas geográficamente, la variedad mongola del almendro silvestre y el melocotonero silvestre David, que crece en los Estados meridionales de EE. UU. El híbrido obtenido le sirvió de eslabón de enlace. El híbrido intermediario aceptó con bastante facilidad el cruce con el melocotonero cultivado. La conveniente educación del híbrido de melocotonero y almendro, obtenido de esta forma, contribuyó a desarrollar en él las propiedades del melocotonero cultivado a la vez que le daba la suficiente resistencia al frío como para poder ser cultivado en la zona central de la U. R. S. S. (fig. 85).

FIG. 85. Inclusión del tercer componente. A la izquierda, almendro silvestre mongol; a la derecha, melocotonero silvestre David; en el centro, almendro michuriniano intermedio (híbrido).

3. *Método de polinización con una mezcla de polen.* Este método se basa en el efecto producido por el polen de diversas formas sobre el óvulo de la planta madre. Si ésta no admite el polen puro, en cambio, mezclado con el de otras formas puede ejercer su influencia en los descendientes. Si el momento de fecundación ha comenzado ya, los óvulos realizan también el intercambio con este polen mediante la asimilación de los gametos. Los híbridos así obtenidos pueden desarrollar, en determinadas condiciones, los caracteres de la forma cuyo polen puro no admitía la planta madre.

Michurin utilizó diferentes mezclas de polen: 1) al polen de la planta con la que era necesario llevar a cabo la hibridación le añadía una pequeña cantidad del de la planta madre o de una variedad próxima a ella; 2) mezclaba polen de diferentes variedades de la misma especie; 3) mezclaba polen de distintas especies (fig. 86). A veces el crecimiento de los granos de polen se favorecía colocando en el estigma de la planta madre un trozo de estigma de la planta padre. Todas estas variantes tienden a dirigir en la fecundación el proceso del metabolismo.

El empleo de polen mezclado da los mejores resultados cuando se fecundan estigmas jóvenes, sin formar todavía, ya que entonces la selectividad de la planta madre hacia el polen no se manifiesta aún de modo definido.

Los métodos de Michurin para superar la resistencia al cruzamiento en la hibridación representan una valiosísima aportación a la ciencia de los híbridos, ya que le señalan el camino que ésta ha de seguir para continuar sus avances.

Características de los híbridos resultantes del cruce entre formas lejanas.

Lo mismo que los híbridos entre variedades de una misma especie, los híbridos entre formas sistemáticamente lejanas ofrecen una *gran potencia de desarrollo* (por ejemplo, los híbridos de Michurin entre cerezos cultivados y silvestres, los cerapadus); si se trata de animales, son fuertes y resistentes, como sucede con el mulo, híbrido de caballo y asno.

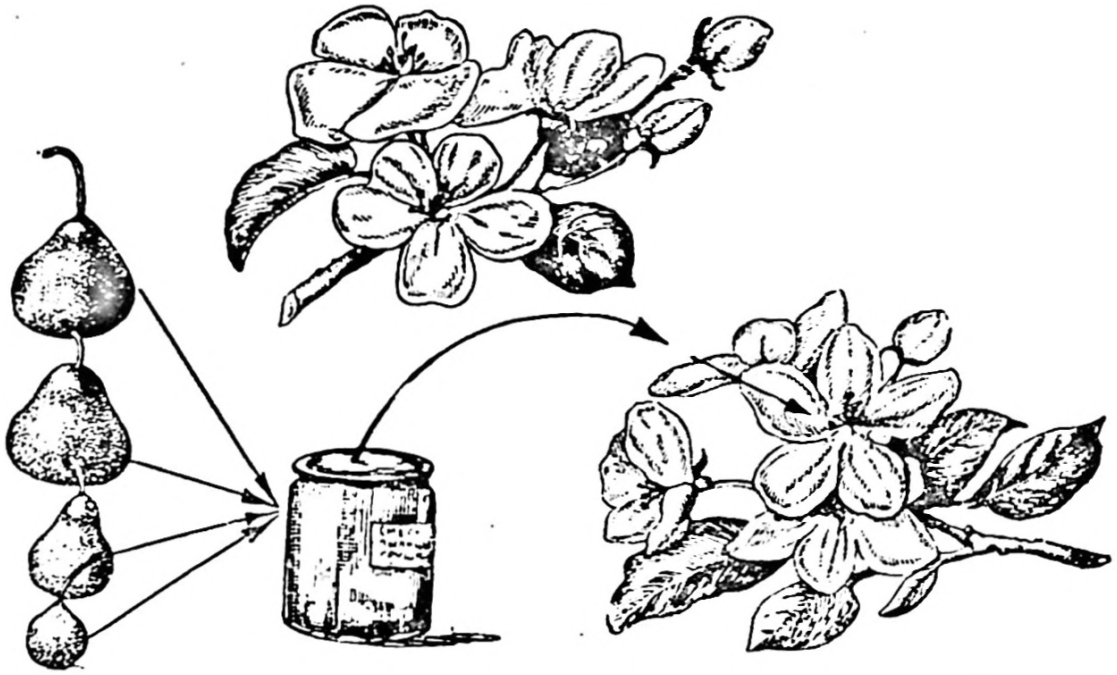


FIG. 86. Polinización de un manzano con una mezcla de polen de distintas variedades de peral.

La infecundidad de los híbridos de especies distintas no es una regla general y puede ser evitada mediante una educación acertada. Es más frecuente cierta disminución de la fecundidad, que con buenos cuidados desaparece en las generaciones sucesivas. Algunos híbridos de Michurin daban los primeros años semillas de pequeño poder germinativo, pero con el tiempo aumentó su fecundidad; por ejemplo, la azucena avioletada —híbrido de segunda generación entre la amarilla y la roja— únicamente dio semillas de valor el séptimo año.

Cuando las células reproductoras de uno de los sexos resultaban de poco valor e incapaces de fecundar, para corregir la esterilidad Michurin recurría al *cruce con uno de los progenitores*. Evitaba la autopolinización de los híbridos y realizaba el *cruce con otra planta semejante;* en su ausencia, tomaba *el polen de otra flor de la misma planta;* también

recurría a los *injertos en los progenitores,* etc. Todas estas medidas, en fin de cuentas, acababan por proporcionar a los híbridos una fecundidad normal.

En la hibridación lejana nos encontramos con una mayor debilitación del patrimonio hereditario en comparación con la hibridación entre individuos de la misma especie; de ahí que en la segunda generación de híbridos entre formas lejanas se observe una *diferenciación aún más notable.*

Es corriente la *aparición de nuevos caracteres,* que faltaban no sólo en los progenitores, sino en sus antecesores más lejanos. Por ejemplo, la azucena avioletada produjo flores con cuatro caracteres nuevos: 1) colorido lila de los pétalos (los padres los tenían amarillo y anaranjado tirando a rojo); 2) color negro de los estambres; 3) aroma de violeta; 4) formación en el bulbo de una corona de raíces (fig. 87).

La variabilidad de las formas híbridas es un hecho que se observa no sólo en la reproducción sexual, sino también en la vegetativa. *Son características las mutaciones somáticas.* Sin embargo, la variedad *de formas de la segunda generación híbrida no es una regla general* ni siquiera en la hibridación lejana. Si el cruce se realiza en condiciones que aseguren la mayor selectividad de los gametos pueden aparecer formas que no originen variaciones en las generaciones sucesivas.

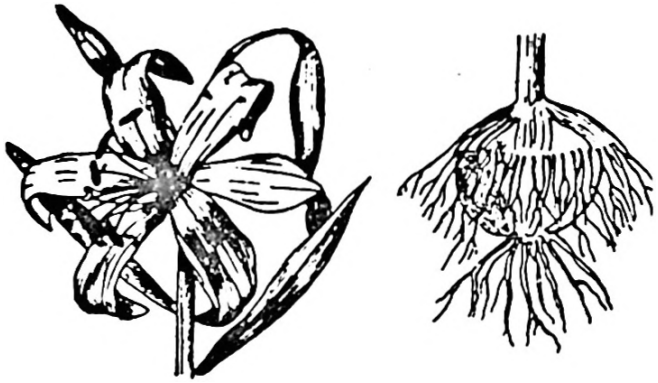


FIG. 87. Hibridación entre formas lejanas. A la izquierda, flor de azucena avioletada; a la derecha, bulbo con raíces accesorias.

HIBRIDACION VEGETATIVA

Desde hace mucho tiempo se conocían algunos casos de obtención de híbridos por procedimientos vegetativos, hecho que Darwin consideraba de gran importancia.

La teoría michuriniana ha puesto en claro los procedimientos adecuados para obtener híbridos de esta clase, convirtiendo el estudio de la hibridación vegetativa, que aclara los *problemas de la herencia, cruce y la fecundación,* en una de sus bases teóricas. La hibridación vegetativa se ha transformado en un potente medio de selección. El valor de este método se acrecienta al permitir la hibridación de formas que se resistían al procedimiento sexual.

Influencias recíprocas del injerto y el patrón.

Los mendelianos-morganistas negaban la recíproca influencia del injerto y el patrón, ya que semejante idea se opone a sus conceptos fundamentales. Admitiendo que la "sustancia hereditaria" está contenida en los cromosomas con independencia del soma y de las condiciones del medio, consideraban que sólo por el intercambio de cromosomas era posible modificar las propiedades de una raza o variedad. En el injerto se produce

únicamente un intercambio de jugos, los cromosomas no se transfieren; por eso, la variación de la herencia como resultado del injerto rebate por completo el mendelismo-morganismo y confirma la idea de Michurin, que ve en la herencia un proceso basado en el metabolismo.

Michurin demostró experimentalmente en sus numerosos trabajos la influencia recíproca del injerto y el patrón.

Lo esencial en las relaciones que tienen lugar entre los dos componentes del injerto es que ambas partes *elaboran sustancias plásticas, específicas* de la naturaleza de cada una, *las cuales se intercambian* al injertarse.

Uno de los más claros ejemplos de ello es el injerto realizado por Michurin de un limonero en un peral, es decir, entre plantas de diferentes familias. El limonero continuó creciendo en el peral, nutriéndose con las sustancias plásticas del sistema radical y foliar de éste, al que transmitió, a su vez, sustancias plásticas elaboradas por sus hojas. Como resultado de esta influencia, el peral se transformó en un árbol de hoja siempre verde (fig. 88).

Método del mentor.

Partiendo de la tesis de las influencias recíprocas del injerto y el patrón, Michurin elaboró su *método del mentor* o guía, que se ha convertido en uno de los principios michurinianos fundamentales; por el que en el cultivo de híbridos crecidos de semilla se dirige la reestructuración de la naturaleza de las plantas y la reconstrucción del patrimonio hereditario.

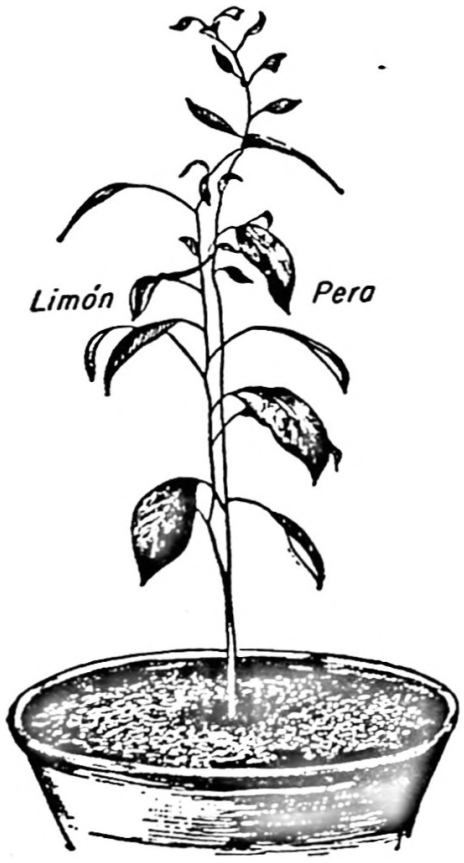


Fig. 88. Influencia mutua del injerto y el patrón.

Dicho método consiste en el injerto, en la corona de una planta perteneciente a una variedad que posea una propiedad determinada, de un híbrido joven originado de una semilla, en el que se quiere desarrollar dicha propiedad; también se puede, por el contrario, injertar en la corona de un híbrido plantado de semilla varios esquejes de una variedad mejor.

Como mentor suele tomarse una variedad ya adulta y estable. El híbrido plantado de semilla es una forma inestable, que tiene quebrantada la base hereditaria, debido a lo cual sus caracteres se forman bajo la acusada influencia del mentor. Este, debido al carácter conservador de la herencia propio de las variedades adultas, elige para formar su cuerpo los productos de asimilación de sus propias hojas y, por eso, no varía.

Por tanto, el desarrollo del híbrido tiene lugar bajo una señalada influencia de la variedad mejor, que le transmite sus propiedades.

Por ejemplo, Michurin, que deseaba obtener una variedad local de manzanas semejante a la Crimea *candille-sinap,* polinizó con

polen de esta última variedad un manzano chino que florecía por primera vez. El resultado fue un híbrido que se aproximaba al padre. Sin embargo, los híbridos no adquirieron sólo los rasgos morfológicos deseables del padre, sino también los perjudiciales, ya que resistían mal el frío, y eso era una característica negativa. A fin de desarrollar en los híbridos esa propiedad, imprescindible para que pudieran crecer en la zona media rusa, Michurin los injertó en la corona de la planta madre, dejándolos durante varios años crecer y desarrollarse bajo la influencia de la savia de esta última. En estas condiciones, los híbridos se hicieron resistentes al frío (figura 89).

Michurin empleaba el método del mentor para aumentar la conservación de los frutos híbridos y elevar la productividad de las plantas. El mentor influía en la forma y las dimensiones de los frutos, en la época de su maduración, es decir, en todos los caracteres visibles y propiedades fisiológicas.

El empleo del mentor exige un estudio completo de las condiciones que contribuyen, favorable y desfavorablemente, a la formación de los caracteres del organismo; de lo contrario, su influencia puede ser nociva.

Condiciones para la obtención de híbridos vegetativos.

La teoría michuriniana explica el fracaso de muchos investigadores que intentaron obtener híbridos vegetativos. En efecto, no todos los cruces, ni mucho menos, dan lugar a estos híbridos. En primer lugar, influye la edad de los organismos acoplados: únicamente los organismos jóvenes con una herencia inestable, quebrantada ya por hibridación previa, se someten a operaciones de este género.

La segunda condición necesaria para obtener híbridos vegetativos es el control de la selectividad de las plantas con respecto a los alimentos. Para ello, Lisenko recomienda el suministro a estas plantas, en lugar de las sustancias plásticas que le son características, de otras producidas por vegetales de diferente clase.

En este sentido se han elaborado una serie de procedimientos especiales.

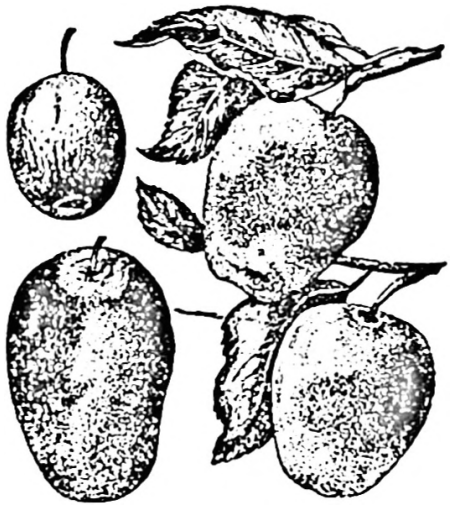


FIG. 89. Candille china. Abajo, a la izquierda, candille-sinap (padre); a la derecha, candille china; arriba, a la izquierda, china (madre).

Por ejemplo, en la hibridación vegetativa de diferentes variedades de patatas (papas) se eliminan de los tubérculos todas las yemas, sustituyéndolas por yemas de *otra variedad*. Los tubérculos crecen en arena lavada de grano grueso, para evitar que las yemas en desarrollo reciban sustancias alimenticias directamente del suelo y *obligarles a formar su cuerpo* únicamente a partir de las sustancias de reserva del patrón, el tubérculo de la *otra variedad*. En los injertos verdes, para que el patrón se alimente únicamente a expensas de las sustancias plásticas del injerto, se le quitan las hojas. Variando la relación del follaje entre el injerto y el patrón, se puede regular su influencia recíproca. Todos estos procedimientos tienden a *obligar a la planta a estructurar su cuerpo a expensas de los productos de asimilación de otra variedad o especie.*

La idea clara de la hibridación vegetativa permite obtener en grandes cantidades híbridos de formas que no se prestaban al cruzamiento sexual.

La hibridación vegetativa no debe considerarse únicamente como resultado de un cruce: se puede obtener *mediante cualquier procedimiento que permita suministrar a un vegetal sustancias alimenticias elaboradas por otro.*

Ultimamente, se va haciendo cada vez más frecuente el empleo del término "hibridación vegetativa" al tratar de bacterias y virus, en el sentido de que un microbio adquiere las propiedades de otro cuando se les cultiva juntos.

También entre los animales superiores se conocen ejemplos de cambios de caracteres y propiedades bajo la influencia de sustancias alimenticias elaboradas por otro organismo.

Al trasplantar a una gallina negra el ovario de una blanca y fecundarla con un gallo blanco, lo mismo que al trasplantar a una blanca el ovario de otra negra y fecundarla con un gallo negro, se obtuvieron pollitos pintados (es decir, que la transformación de la naturaleza de los embriones

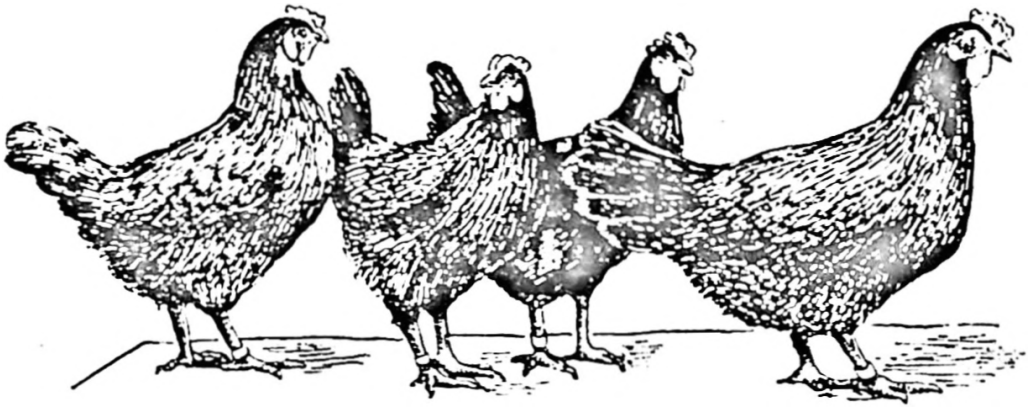


FIG. 90. Grupo de gallinas de la cuarta generación, obtenidas a partir de Leghorn (plumaje blanco), a las cuales hicieron transfusiones durante tres generaciones de sangre de gallina austrolorps (plumaje negro). Las gallinas adquirieron el plumaje de las donantes.

tuvo lugar por procedimiento vegetativo a través de las células somáticas). Experimentos semejantes se realizaron con conejos. También se logran cambios en la naturaleza del organismo mediante la sustitución del vitelo en huevos de ave por materia albuminoidea de otra especie, es decir, modificando la alimentación del embrión en las fases tempranas de la embriogenia.

En los últimos años se han realizado gran número de operaciones de *trasplante cruzado de embriones* de mamíferos (diferentes razas de conejos, cerdos, ovejas). Estos trabajos revelan cambios en las propiedades fisiológicas y en los caracteres morfológicos de los embriones, debidos a la influencia del organismo en el que se han desarrollado.

Son de gran interés las modificaciones de la herencia logradas con repetidas transfusiones de sangre en distintas generaciones; ejemplo de ello son los experimentos realizados con gallinas jóvenes de pura raza Leghorn blanco, que fueron apareadas con gallos de la misma raza. Los donantes fueron aves negras de la raza *autrolorp.* Las aves que recibían la sangre

combinaron el color del plumaje, la pigmentación de las patas y del pico, aumentaron de peso, etc. Además, los cambios de caracteres raciales se fueron acumulando de generación en generación (fig. 90).

Se han realizado experimentos con objeto de lograr la transmisión de la inmunidad al cáncer, haciendo que hembras de líneas inmunes críen a ratoncillos atacados por esta enfermedad; la inmunidad se ha transmitido después a los descendientes.

Todos estos datos muestran que las *bases teóricas de la hibridación vegetativa son de enorme valor para la Biología general.*

La influencia de las condiciones en que transcurre el embarazo, el estado de salud de la madre y su régimen de vida no son indiferentes para el embrión en desarrollo; por eso, en la obstetricia hay que tener en cuenta la posibilidad de semejante herencia somática.

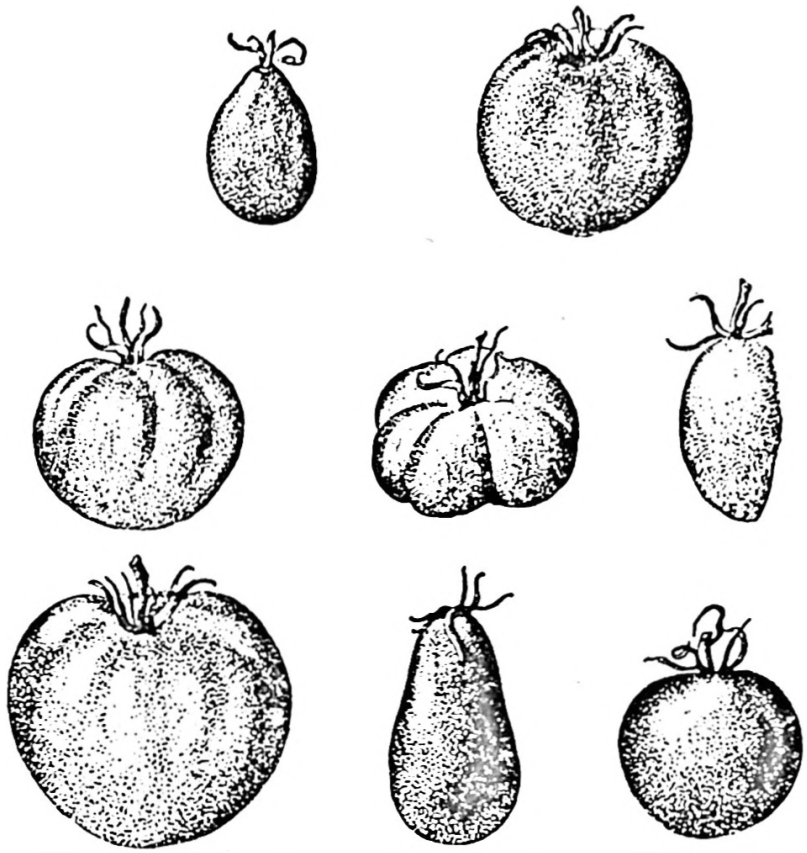


FIG. 91 y 92. Híbridos vegetativos de tomates. Primera fila: a la izquierda, tomate de hojas semejantes a la patata (patrón), y a la derecha, tomate albino (injerto). Segunda fila, segunda generación, obtenida de semillas, del híbrido vegetativo de tomates de hojas como las de la patata injertadas con tomate de la variedad albina (las semillas se han tomado de los frutos del patrón). Tercera fila: segundos descendientes del mismo híbrido vegetativo (las semillas se han tomado de los frutos del injerto de variedad albina).

Naturaleza común de la hibridación sexual y vegetativa. Variabilidad de los organismos en nuevas condiciones de vida.

Al analizar los problemas de la hibridación vegetativa, Darwin señalaba que los elementos creadores capaces de fundirse con los elementos de otro ser no se limitan a los órganos de reproducción, sino que se en-

cuentran también en las yemas y en los tejidos celulares de las plantas. Este hecho tiene, según opinión de Darwin, una extraordinaria importancia fisiológica.

Lisenko señala que el desarrollo de cada célula somática y sexual está ligado al metabolismo. Este proceso se basa en la absorción de los alimentos que suministra el medio ambiente y su transformación en sustancias plásticas específicas para cada forma, a partir de las cuales cada organismo estructura su cuerpo.

En el proceso sexual, las condiciones exteriores las representan los propios gametos. Su asimilación mutua, si los espermatozoides y el óvulo pertenecen a organismos de diferentes variedades, conduce, por regla general, a la formación de una variedad nueva. En la hibridación vegetativa, como resultado de la *asimilación por una de las variedades de las sustancias plásticas de la otra variedad,* se produce también la fusión de dos patrimonios hereditarios en uno, es decir, un fenómeno semejante a la asimilación mutua de gametos en la reproducción sexual.

Por lo tanto, la acción recíproca del injerto y el patrón da lugar, lo mismo que la asimilación mutua de los gametos, a la formación de una variedad nueva.

Ahora bien, la formación de una tal variedad nueva puede tener lugar sin necesidad de hibridación, como resultado de la asimilación obligada por el organismo en desarrollo de elementos de naturaleza inorgánica. Eso determina un nuevo tipo de metabolismo, nuevas necesidades y, en consecuencia, una nueva dotación hereditaria.

Al continuar reproduciéndose, los descendientes obtenidos por hibridación vegetativa presentan, en la mayoría de los casos, *diversidad* de caracteres, es decir, que la segunda generación y las sucesivas de los híbridos vegetativos, y también las formas cuyo desarrollo transcurrió en nuevas condiciones de vida, se *comportan de la misma manera que los descendientes de los híbridos sexuales.* Se repiten las formas originarias y de otros antecesores y se originan nuevos caracteres.

Los descendientes de los híbridos vegetativos desarrollados a partir de semillas, presentan caracteres que difieren no sólo entre individuos distintos; incluso en una misma mata aparecen a veces frutos de diferente forma y color, unos que se desvían siguiendo la línea del padre y otros que lo hacen siguiendo la de la madre (figs. 91 y 92).

La variedad de descendientes en híbridos sexuales y vegetativos, y en organismos cuya naturaleza hereditaria está quebrantada por las condiciones no comunes del medio, confirman el *carácter general de los procesos* que sirven de fundamento a estos fenómenos.

En este caso, Lisenko considera que los híbridos vegetativos son una etapa transitoria, un eslabón intermedio entre la transformación del patrimonio hereditario de los organismos vegetales por el cruzamiento y el cambio que se opera en él a consecuencia de la acción que en el organismo ejercen las condiciones de vida. Son la demostración palpable de la modificación de la herencia como resultado del cambio de alimentación y de la adaptación de este cambio a las condiciones del medio.

CONCLUSIONES

1. La herencia de los organismos se forma en su desarrollo filogenético en interacción con el medio.

2. El cambio hereditario se produce al modificarse las relaciones con el medio exterior, a consecuencia de cambios en el tipo del metabolismo.

3. La herencia simple tiene como base una sola forma progenitora; ello asegura el máximo de semejanza entre los organismos hijos y los organismos padres.

4. Todas las formas de herencia compuesta se observan tanto en la reproducción sexual como en la asexual. Este tipo de herencia es resultado de una asimilación recíproca: en el primer caso, de gametos; en el segundo, de sustancias plásticas de naturaleza extraña.

5. El concepto de carácter dominante y recesivo de los caracteres es relativo y depende de las condiciones de fecundación y desarrollo ulterior del organismo híbrido. Los caracteres de los progenitores no se heredan "hechos a la medida", sino que su desarrollo depende del medio exterior.

6. Los híbridos son organismos con herencia quebrantada, a consecuencia de lo cual sus descendientes, a partir de la segunda generación, pueden diferir unos de otros. La segregación de los caracteres en los descendientes puede lograrse también sin recurrir a la hibridación, creando condiciones que conduzcan al debilitamiento de la base hereditaria.

7. La elección acertada de las parejas de progenitores para el cruzamiento, y el control de las condiciones que acompañan a la fecundación y al cultivo posterior de los híbridos, permiten dirigir los procesos de la fecundación y de la herencia, y sus cambios.

PARTE SEGUNDA

TIPOS DE LOS REINOS VEGETAL Y ANIMAL

CAPITULO VII

ALGUNOS DATOS DE ECOLOGIA Y TAXONOMIA

EL ORGANISMO Y EL MEDIO

La composición química y el origen de los organismos demuestran que son parte integrante de la capa superior de la corteza terrestre (la biosfera).

Los productos albuminoideos que derivaron de la materia inorgánica continuaron su desarrollo en condiciones de un continuo intercambio con el medio exterior. En las sucesivas épocas geológicas adquirieron mayor complejidad las condiciones de vida en la Tierra, lo que dio lugar a diferentes formas, cada vez más complicadas, del mundo orgánico. Numerosas especies de plantas, animales y microorganismos se amoldaron a un medio de vida muy variable. Poblaron la tierra, el agua y el aire; se adaptaron al clima tórrido y al frío polar; vivieron en manantiales calientes, en condiciones aerobias y anaerobias, con diferente iluminación y en la oscuridad (organismos que habitan las cavernas y las profundidades del océano), etc.

Sin embargo, los organismos no se limitaron a experimentar la influencia del medio que les rodeaba, sino que ellos mismos modificaron el medio en que vivían. Los científicos rusos V. V. Dokucháev, P. A. Kóstichev, V. R. Williams y otros, descubrieron la importancia de los organismos en el proceso de formación del suelo. V. I. Vernadski mostró que no sólo el suelo, sino también la atmósfera que rodea la Tierra y toda la composición mineral de las capas superiores de la corteza terrestre deben su origen, directa o indirectamente, a la actividad vital de los organismos.

Los organismos y la naturaleza inorgánica que los rodeaba se fueron modificando a lo largo de los períodos geológicos del planeta, en estrecha relación unos con otros, constituyendo una unidad inseparable.

El zoólogo soviético académico E. N. Pavlóvski distingue en nuestro planeta tres grandes medios de vida: el agua (hidrosfera) la tierra y el aire (aerosfera) y el organismo (ontosfera). El medio en que habitan los organismos representa un conjunto de condiciones abióticas y bióticas, que influyen directa o indirectamente sobre ellos.

CONDICIONES ABIOTICAS

Las condiciones abióticas poseen un caracter físico-químico. Forman parte de ellas, ante todo, las condiciones climatológicas (luz, calor, humedad, etc.). Sin detenernos en la diversidad de procedimientos que tienen los organismos para adaptarse a las condiciones físico-químicas de su vida, analizaremos algunos de ellos.

A lo largo de su vida, los organismos sufren la influencia de profundas oscilaciones en las características del medio que los rodea, especialmente de los cambios de clima relacionados con las estaciones del año, variando de acuerdo con ello la composición y la cantidad de los alimentos.

Los vegetales y los animales han desarrollado una serie de dispositivos para resistir las condiciones desfavorables, relacionadas con el comienzo de los fríos invernales y también del calor estival y la sequía.

Algunas plantas son capaces de soportar una gran disminución de temperatura: por ejemplo, una especie de alga, la *Sphaerella nivalis,* continúa su desarrollo incluso a −34°. Estas algas originan en las nevadas extensiones del Artico unas manchas de color rojo sangre. La acumulación de glucosa y sales en las células aumenta su resistencia a las heladas. En las zonas nórdicas son muy frecuentes las plantas que se extienden por el suelo, como sucede, por ejemplo, con el abedul septentrional. Algunos vegetales adquieren forma de almohadones, sus ramas se agrupan constituyendo un apelotonamiento y se aplastan contra el suelo. Ciertas plantas tienen las hojas y las flores cubiertas de pelusa muy espesa, como, por ejemplo, el leontopodio alpino o edelweiss. En la zona templada, cuando llega el invierno, los árboles y los arbustos pierden la hoja, fenómeno relacionado con el hecho de que en este período el agua que absorben las raíces es insuficiente y ello sirve de protección para evitar que las plantas se sequen.

En las regiones secas, los vegetales han elaborado diferentes procedimientos contra la pérdida de la humelad. El brezo, por ejemplo, tiene las hojas filiformes, siendo mínima su superficie de evaporación; además las ramas crecen pegadas al suelo. El cacto mexicano tiene un tallo muy grueso, que conserva las reservas de humedad. Algunas plantas terminan muy rápidamente, antes de que comience la sequía, su período vegetativo, etc.

Los animales de sangre caliente conservan constante la temperatura del cuerpo a pesar de las oscilaciones de temperatura que se observan en el medio ambiente, debido a que gozan de regulación térmica. Esta regulación es resultado de las variaciones de intensidad en el organismo de los procesos de oxidación y reducción y de la producción de calor a que ello da lugar. La regulación térmica se asegura en primer lugar por la actividad refleja del sistema nervioso. Además, muchos animales acumulan para el invierno reservas de alimentos, construyen madrigueras y tienen el cuerpo cubierto de una piel que los abriga. La capa subcutánea de grasa es también un aislante térmico.

El enfriamiento del cuerpo se logra mediante diferentes procedimientos fisiológicos que se encargan de eliminar el calor, como es, por ejemplo, el sudor, que aumenta la evaporación. Las aves ven favorecido su enfriamiento gracias a la enorme superficie evaporante de su aparato respiratorio; los perros, debido a su lengua siempre húmeda. Los animales de los países cálidos tienen muy poco desarrollado el pelo (por ejemplo, los elefantes africanos e indios, los búfalos, rinocerontes, hipopótamos, etc.).

Un ejemplo clásico de adaptación al calor y a la falta de humedad lo ofrece el camello, habitante de los desiertos, cuyo estómago dispone de cavidades especiales que sirven de depósitos de agua. Los moluscos terrestres soportan la elevada temperatura y la sequía gracias a su espesa concha, cuyo orificio cierra a modo de tapón una mucosidad endurecida.

Cuando se presentan condiciones de vida desfavorables, muchos animales emigran. Por ejemplo, al cambiar las estaciones se observan migra-

ciones de numerosos animales hacia la montaña (migraciones verticales). Son muy características las que realizan las aves llamadas de paso, que con frecuencia efectúan grandes vuelos, trasladándose del Norte al Sur. Algunas clases de murciélagos también cambian de lugar, invernando en las regiones meridionales.

El sueño invernal y la anabiosis.

Muchos animales, para protegerse de las condiciones desfavorables del medio exterior, recurren a un procedimiento peculiar, el *sueño invernal,* que consiste en un letargo temporal.

En las latitudes septentrionales y de clima moderado, al llegar los fríos, muchas especies de animales caen en un letargo invernal. Algunas de ellas lo experimentan en los lugares en que el verano es muy cálido, durante el período de sequía. Los protozoarios lo sufren cuando se secan o se hielan los pantanos. En este caso forman capas resistentes o *quistes* (figura 93). Algunos animales (los infusorios, las amebas y otros protozoarios) permanecen en el légamo o en las gotas de agua que se quedan sin helar dentro del hielo. Cuando llega el invierno, pasan a un estado de parálisis o entumecimiento los moluscos, los crustáceos, los arácnicos y los insectos. Las abejas, en condiciones naturales, no suelen pasar al estado de sueño invernal, ya que disponen de las reservas de alimentos que almacenan durante el verano (aunque, en general, al disminuir la temperatura pueden adormecerse). Lo mismo sucede con algunas clases de hormigas.

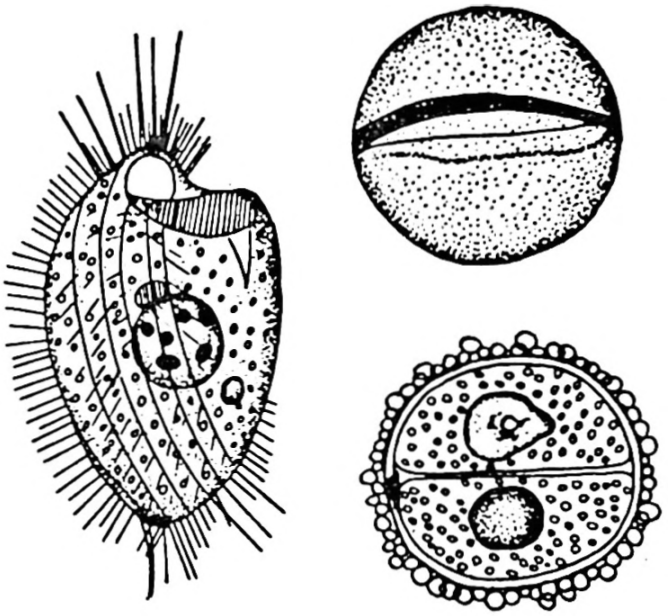


FIG. 93. Infusorios *Mycterothix tuamotuensis* enquistados.

En las latitudes medias se observa este fenómeno en muchos peces de agua dulce: carpas, *Carassius,* siluros, etc.; se entierran en el légamo y permanecen inmóviles sin ingerir alimento alguno. El sueño invernal es característico de todos los anfibios (ranas, sapos y tritones): se ocultan en el légamo o en el fango del fondo de los pantanos. Algunos batracios invernan en seco en determinados refugios (en grietas, agujeros, debajo de las raíces de los árboles o en los huecos del tronco, bajo las piedras, etc.), a veces muchos ejemplares reunidos. Los reptiles terrestres (culebras, serpientes y lagartijas) suelen invernar colectivamente en las madrigueras de los roedores y de las ratas, en los túneles perforados por las avispas, etc.

Entre los mamíferos, caen en el sueño invernal muchos roedores: la mayoría de las especies de *hámsters,* los cuales, sin embargo, se despiertan periódicamente. A este fin hacen reservas de alimentos en cámaras especiales de sus madrigueras. Las marmotas invernan en madrigueras por fa-

milias: los citilos duermen separados y, como no se despiertan durante el invierno, no suelen preparar ninguna reserva. Los *Tamias sibiricus* acumulan para el invierno piñones y granos de trigo, de cebada o de girasol, que ingieren durante las cortas interrupciones de su sueño en los deshielos invernales.

También se adormecen los jerbos, los lirones y los *Sicista*. Estos animales pasan generalmente el invierno debajo de las raíces de los árboles o en madrigueras. Es así también como invernan los erizos. Muchas especies de murciélagos invernan en cuevas, sótanos, grietas del suelo, huecos de los árboles, etc. Entre los mamíferos carnívoros duermen durante el invierno: el tejón, el *Castor ussuriensis* y el oso. Sin embargo, hablando con pro-

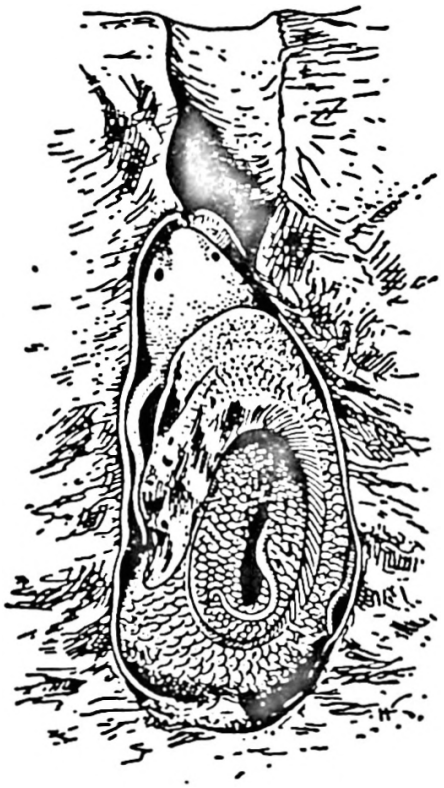


FIG. 94. Protóptero enterrado en el cieno durante el sueño estival.

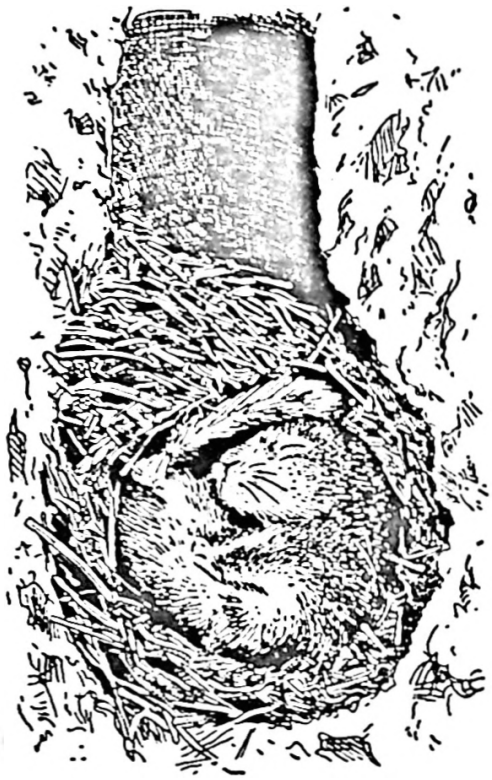


FIG. 95. Lirón en su madriguera durante el periodo de sueño.

piedad, estos animales no caen en la profunda inanimación que es característica del sueño invernal; más bien se observa en ellos un estado de somnolencia más profunda que el sueño corriente.

El número de especies de animales que se hallan adormecidas durante la época de las sequías estivales es más reducido; entre ellos hay muchos invertebrados, por ejemplo, los rotíferos, los tardígrados (artrópodos microscópicos), las bellotas de mar, etc. También caen en el estado de sueño estival algunas clases de vertebrados, por ejemplo los peces dipnoos africanos, los cuales se entierran en el légamo enroscando su cuerpo alrededor de la cabeza, que mantienen dirigida hacia arriba. El cuerpo se cubre de una mucosidad, que al secarse, junto con el légamo que les rodea origina una cápsula protectora. El pez respira por un orificio abierto en la cápsula (fig. 94). En el cieno de los pantanos secos se han encontrado carpas, ten-

cas y percas, que recobran su actividad al introducirlas en el agua. Algunas clases de citilos duermen el sueño estival. En semejante estado, se debilitan todos los procesos orgánicos. Los animales que se duermen lurante largo tiempo (varios meses) pueden prescindir de la alimentación y subsisten únicamente a expensas de las reservas nutritivas de su propio cuerpo (fig. 95). En esta situación resisten estos animales condiciones desfavorables que, sin duda, habrían conducido a su muerte en estado de vida activa. Por ejemplo, los mamíferos dormidos toleran un enfriamiento de su cuerpo hasta de 5 y 7 grados, mientras que otros mamíferos que no caen en el estado de somnolencia mueren cuando la temperatura de su cuerpo desciende tan sólo en algunos grados.

Una depresión de la actividad vital aun mayor que el sueño, que significa para los animales una inmovilidad completa, es la que ha recibido el nombre de *vida latente* o *anabiosis* (del griego "anabiosis", reactivación). Con este término se denomina un estado del organismo en que éste parece estar muerto, sin señales perceptibles de vida; incluso los procesos del metabolismo se debilitan tanto, que a veces es imposible registrarlos. La anabiosis se refiere también al hecho de que el organismo sale de semejante estado y vuelve a la vida activa.

El paso de un organismo vivo al estado de anabiosis lo determina, ante todo, la pérdida de agua. Cuando un organismo se seca sucede lo mismo que cuando se enfría, se deshidrata; los cambios en la proporción de agua se reflejan intensamente en su actividad vital. El metabolismo y las propiedades de los seres vivos que de él se desprenden —movimiento, crecimiento y reproducción—, dependen del agua contenida en el organismo. La reversibilidad de los cambios en la anabiosis parece deberse, en lo fundamental, a la posibilidad de que las células recuperen el agua perdida.

En muchos casos, las semillas secas no pierden la capacidad germinativa hasta pasados más de 50 años. Cuando se secan los pantanos, los protozoarios recubiertos por los quistes conservan durante largo tiempo (los infusorios hasta seis años) la facultad de volver a la vida activa. Las formas parasitarias de los protozoarios, cuyos ciclos vitales están ligados al cambio de huésped, pueden también permanecer durante mucho tiempo enquistadas en un medio exterior, resistiendo muy bien las circunstancias adversas. Las larvas capsuladas de la triquina, que se encuentran en las fibras musculares del huésped, pueden conservar durante 30 años su capacidad vital. De las huevas de algunos crustáceos salen larvas después de haber permanecido secas durante 10 y 12 años.

Cuando se seca un musgo, los rotíferos y tardígrados que habitan en él pueden permanecer durante varios meses en estado de vida latente. Experimentos realizados últimamente con una serie de microbios y sus esporas, y también con semillas y esporas de vegetales y levaduras, en helio líquido (a una temperatura de —269°) y en hidrógeno líquido (a la temperatura de —255°) demuestran que estos organismos no llegan a perder la facultad de restablecer, en condiciones adecuadas, sus actividades vitales.

Los rotíferos, los tardígrados y los nemátodos son capaces de volver a la vida activa después de haber perdido casi por completo el agua de su cuerpo. Resisten un calentamiento prolongado hasta la temperatura de 100° si éste se realiza con cuidado, y también la permanencia en el vacío. Conservan la vida a temperaturas próximas al cero absoluto. Estas formas

se pueden secar y reactivar periódicamente. Sin embargo, cuando se comprueba su facultad de restablecer las actividades vitales después de diferentes períodos, puede advertirse que el número de ejemplares reactivados disminuye a medida que aumenta el tiempo que han permanecido secos. Eso demuestra que en el cuerpo de estos animales tienen lugar determinados procesos y se consumen ciertas sustancias, lo que, en fin de cuentas, origina su muerte.

El eminente investigador ruso P. I. Bajmétiev (1860-1913), que estudió la anabiosis de los animales a causa del frío, enunció una serie de leyes valederas para cuando el enfriamiento desciende a menos de 0°. Realizó sus experimentos con insectos y, en parte, con murciélagos. Bajmétiev colocaba los animales en una mezcla refrigerante para lograr su enfriamiento por debajo del punto de congelación, sin formación de hielo en su cuerpo. La cristalización del hielo lesiona los tejidos de los órganos internos, sobre todo el sistema nervioso y el aparato circulatorio. lo que origina la muerte de los animales. El enfriamiento por debajo del punto de congelación se logra enfriando paulatinamente y de modo uniforme los líquidos. En los experimentos de Bajmétiev los insectos recobraban su actividad vital únicamente si no se habían helado totalmente los jugos de los tejidos, es decir, si a pesar de estar enfriados por debajo del punto de congelación se conservaban en estado líquido.

Investigaciones posteriores demuestran que al enfriar rápidamente el animal hasta una temperatura que oscile entre —90° y —160°, el líquido de los tejidos se transforma inmediatamente en una masa vítrea (fenómeno de vitrificación) sin que se formen en el protoplasma cristales de hielo. Ello conserva la estructura de la sustancia viva y asegura el restablecimiento de la actividad vital. Estos animales son capaces, en determinadas condiciones, de salir del estado de anabiosis y continuar su desarrollo normal.

Experiencias análogas se realizaron con espermatozoides de conejo. El líquido espermático se mantenía durante un período de 15 a 32 días a una temperatura comprendida entre —730° y —183°, e incluso inferior; a continuación, se calentaba y se procedía a la fecundación artificial de las hembras, naciendo como resultado de ello conejillos normales.

La anabiosis a causa del frío tiene un significado práctico muy importante para la Medicina. Al preparar vacunas secas, los microbios, junto con su medio nutritivo, se desecan a bajas temperaturas. En tales condiciones, las vacunas conservan durante muchos años sus propiedades inmunizadoras.

La congelación instantánea de la sangre no altera la estructura interna de sus elementos y permite utilizarla al cabo de largo tiempo para la transfusión a enfermos o heridos.

La congelación de los animales superiores origina, por regla general, su muerte. Incluso una pequeña disminución de la temperatura de su cuerpo resulta fatal, a causa de la reacción del sistema nervioso simpático, que acelera la producción de calor, causando el total agotamiento del organismo.

Sin embargo, últimamente, el empleo de neurótropos, que paralizan el sistema nervioso vegetativo, ha permitido obtener una disminución de la temperatura del cuerpo (hipotermia o hibernación) no sólo en experimentos con animales, sino también en la práctica médica. Disminuyendo la temperatura del cuerpo hasta 26° o 28° se logra una anestesia total sin

necesidad de recurrir a narcóticos, con lo que el enfermo conserva sus energías; esto permite realizar complicadas y largas operaciones, como son, por ejemplo, las de corazón.

La hipotermia abre a la Medicina grandes perspectivas.

CONDICIONES BIOTICAS

Las condiciones bióticas las crea la actividad vital de los propios organismos. En estado normal los organismos están íntimamente relacionados unos con otros. El hombre, con sus actividades económicas, influye poderosamente en los reinos vegetal y animal.

Las formas más importantes de relaciones en el reino vegetal y el animal son las siguientes:

I. *Simbiosis.* Es una asociación íntima entre organismos, que no perjudica a ninguno de ellos; antes bien, al contrario, es favorable para uno o incluso para los dos. Se distinguen tres categorías de simbiosis:

a) *Sinoiquia* o proximidad territorial (inquilinismo). En estos casos, uno de los miembros de la asociación se establece en el otro (o en cualquiera de sus cavidades), obteniendo con ello ventajas que no son dañinas para su compañero. Un ejemplo de semejante simbiosis lo ofrecen, dentro del reino vegetal, las epífitas, plantas que han perdido sus vínculos directos con la tierra. Se desarrollan en las raíces o los tallos de otros vegetales, aunque su nutrición es independiente. Así les sucede, por ejemplo, a los musgos y a los líquenes, que crecen en los árboles. Pertenecen a esta categoría las lianas tropicales. En la flora de la U. R. S. S. hay lianas herbáceas: el lúpulo, la calabaza, etc. Estas plantas únicamente recurren a otras para lograr que sus hojas reciban luz. Pueden servir de ejemplo de sinoiquia dentra del reino animal los alevines de algunos peces marinos, que se mantienen dentro del radio de acción de los tentáculos de las medusas y, en caso de peligro, se ocultan bajo su umbrela, que está protegida por tentáculos marginales.

b) *Comensalismo.* En esta simbiosis uno de los organismos que viven juntos utiliza los residuos de la alimentación del otro sin causarle daño alguno. Un ejemplo de comensalismo lo ofrecen las rémoras que se adhieren a la piel de los grandes tiburones.

c) *Mutualismo,* o asociación íntima de la que obtienen ventaja ambos individuos. Ejemplo de semejante vida en común lo ofrecen en el reino vegetal los líquenes, que forman, como si dijéramos, un solo organismo integrado por un hongo y un alga; el hongo produce y conserva la humedad; el alga, capaz de realizar la fotosíntesis, integra las sustancias orgánicas necesarias. Pertenece, entre los animales, a este tipo de simbiosis la asociación del ermitaño y la actinia. Esta se fija a la concha del ermitaño y se traslada con él; el crustáceo recibe parte del botín que atrapan los tentáculos de la actinia.

II. *Rapiña o depredatorismo.* Es una forma de relación entre los organismos en la cual uno de ellos mata y se come al otro. Lo característico de la rapiña es la alimentación, *realizada una sola vez,* a costa de la víctima, que muere. Ejemplos de rapiña en las plantas son la drosera, la aldrovanda (*Utricularia*) y la dionea o atrapamoscas (*Dionaea muscipula*). Estas plantas digieren los insectos que atrapan, completando así la insuficiencia del

nitrógeno que obtienen del suelo. En los animales está muy extendida la rapiña.

III. *Parasitismo.* Es la convivencia de diferentes organismos, uno de los cuales (*parásito*) utiliza al otro (*huésped*) como fuente de alimentación y vivienda; el parásito puede ocasionar al huésped grandes perjuicios, llegando incluso a ser causa de su muerte. A diferencia de los organismos rapaces o depredadores, el parásito utiliza múltiples veces o durante largo tiempo a su huésped para alimentarse.

Entre los vegetales el parasitismo es característico de muchos organismos que carecen de clorofila (hongos y bacterias) y también de algunas plantas superiores. Algunos hongos parasitarios causan grandes daños a la agricultura, como sucede con la roya negra (*Puccinia graminis*), etc. Otros, principalmente las bacterias, producen enfermedades en el hombre y en los animales. Las fanerógamas parásitas, por ejemplo, la *Lathraea squamaria,* se adhieren con sus raíces a las del huésped (aliso u otro árbol). Al absorber sustancias orgánicas ya preparadas estas plantas son ya incapaces de nutrirse por cuenta propia, a causa de lo cual sus hojas han perdido la coloración verde. Algunas plantas llevan una vida semiparásita; conservan la clorofila y se fijan a otras sólo para recibir alimentación complementaria. Pertenecen a esta categoría el *Alectrolophus,* una de las malas hierbas de los prados.

E. N. Pavlovski.

El parasitismo está particularmente extendido en el reino animal.

El organismo como medio ambiente.

En las últimas décadas, la Parasitología animal se ha convertido en una disciplina independiente que se desarrolla con gran rapidez. Ha alcanzado una gran importancia para la Medicina, la Veterinaria y la Agricultura.

A los progresos de esta ciencia contribuyeron en alto grado los académicos rusos E. N. Pavlovski y K. I. Skriabin, que fundaron escuelas propias de Parasitología.

Pavlovski considera el organismo del huésped como medio exterior del parásito.

Por ejemplo, será exterior para cualquier parásito del intestino el contenido del mismo, otros parásitos que vivan en él (bacterias, protozoarios y gusanos), las paredes intestinales y finalmente la totalidad del organismo. Pavlosvski llama al medio exterior así considerado *medio ambiente de primer grado.* El propio organismo del huésped vive en un medio exterior (para él) que para el parásito interior será *un medio ambiente de segundo grado.* Sus factores influyen en el parásito, pero no directamente, sino a

través del cuerpo del huésped. Cuando nos referimos al hombre, en primer lugar se hallan los factores de carácter social, que determinan en particular la posibilidad del contagio y el curso de la enfermedad, en dependencia del tratamiento, los cuidados, etc.

Es necesario distinguir los *parásitos falsos* y los *verdaderos.* A la primera categoría pertenecen aquellos organismos que, viviendo libremente, pueden continuar subsistiendo durante algún tiempo dentro del cuerpo de otro ser, si el azar les lleva a él. Por ejemplo, en el intestino humano ha descubierto Skriabin huevas, larvas y gusanos adultos del género *Rhabditis,* que viven por lo común en la tierra. Los parásitos verdaderos han de vivir obligatoriamente en el interior o en la superficie del huésped. El parásito verdadero puede ser temporal o permanente. En el primer caso, vive generalmente fuera del huésped, al que ataca sólo para alimentarse; el permanente está ligado al huésped durante toda la vida o durante una fase prolongada de su desarrollo

K. I. Skriabin.

Por la localización del parásito en el cuerpo del huésped se distinguen:

1) *ectoparásitos* o parásitos exteriores, que se detienen en la superficie del cuerpo del huésped para alimentarse (mosquitos, tábanos y sanguijuelas);

2) *parásitos intradérmicos,* los que viven dentro de los tejidos cutáneos, por ejemplo, el ácaro de la sarna (*Sarcoptes scabiei*), que abre galerías en la epidermis;

3) *parásitos de las cavidades,* que habitan las cavidades del cuerpo en amplio contacto con el medio exterior (cavidad nasal, bucal, pabellón del oído);

4) *endoparásitos* o parásitos interiores, que viven en los órganos internos del huésped (tejidos, sangre, intestinos, hígado, vejiga de la orina, etc.). Algunos parásitos suelen cambiar de residencia.

El modo de vida parasitario (a expensas de otro organismo vivo) influye intensamente en el parásito. Los dispositivos de que disponen los parásitos para adaptarse a sus condiciones específicas de vida son numerosos y muy variados.

Se distinguen *adaptaciones progresivas* (relacionadas con un desarrollo mayor e incluso con la formación de nuevos órganos en el parásito) y *regresivas,* que originan la reducción mayor o menor e incluso la desaparición de algunos órganos o partes del cuerpo de los parásitos.

Es típico en la mayoría de los parásitos la creación de *órganos de sujeción* (tentáculos, garfios), con ayuda de los cuales se sujeta el parásito al cuerpo del huésped.

El carácter específico de la forma de alimentación se refleja en el aparato digestivo. Muchos parásitos que se nutren de sangre, sobre todo los que lo hacen de una manera periódica, presentan la hipertrofia de algu-

nas partes del aparato digestivo (dilataciones especiales en las sanguijuelas, la facultad del intestino para alargarse en las chinches y garrapatas). En otros parásitos que viven en el intestino o en la sangre, donde la alimentación se realiza por un procedimiento osmótico, se observa la reducción del intestino, que llega a desaparecer totalmente (en los cestodos).

En la respiración de los parásitos intestinales se observa una adaptación fisiológica característica. Viven en un medio casi sin oxígeno y su respiración es anaerobia; la fuente de energía es la descomposición del glucógeno.

La conservación de la especie de cualquier parásito se complica notablemente por la dificultad de distribuir los descendientes en nuevos huéspedes. Esta dificultad la salva, por lo general, su gran capacidad reproductora. La cantidad de huevos producidos es enorme, por lo que el sistema o aparato sexual alcanza en ellos un considerable desarrollo, en perjuicio, a veces de otros sistemas de órganos.

La dificultad con que tropieza la mayoría de los parásitos es que para trasladarse a nuevos seres tienen que atravesar el medio exterior (medio de segundo grado). Para protegerse de los peligros que esto encierra se desarrollan ciertos dispositivos, como son la resistencia de las larvas a la falta de agua, a la congelación, a la acción de los tóxicos, etc. Los huevos disponen de potentes defensas en forma de complicadas cubiertas. Con frecuencia, el ciclo de desarrollo del parásito se relaciona con el cambio de varios huéspedes, es decir, que el embrión que ha abandonado un organismo tiene que ir a parar a otro animal, en el que sufre una serie de transformaciones, después de lo cual puede continuar su desarrollo. El animal en el que el parásito alcanza su madurez sexual y se reproduce por vía anfigónica se llama *huésped fundamental o definitivo.* El organismo donde el parásito vive en estado larvario se llama *huésped intermediario.*

La presencia del parásito en el cuerpo del huésped repercute de diferente forma sobre este último. Unos parásitos no producen en el huésped efectos dañinos: son las formas *no patógenas.* Otros, los parásitos *patógenos,* es decir, productores de enfermedades, pueden ser causa de diversas clases de éstas. El carácter patógeno del parásito se revela en dependencia del estado del organismo huésped. Un mismo parásito puede ser patógeno para un huésped e inofensivo para otro de la misma especie. La enfermedad producida por un parásito es resultado de la interacción del organismo huésped y los parásitos que lo invaden, de acuerdo con las condiciones concretas del medio.

La infección de un organismo por cualquier parásito de naturaleza animal se llama *invasión,* y en consecuencia, las enfermedaeds a que da lugar son *enfermedades de invasión o parasitosis,* a diferencia de las auténticas enfermedades *infecciosas,* producidas por los microbios y los virus.

Los métodos a que los parásitos recurren en su acción sobre el huésped son muy variados. Se distinguen, en primer lugar, la *acción mecánica,* la irritación ocasionada por el movimiento, la lesión de los tejidos por los organos de sujeción y por el aparato bucal, la obstrucción de los canales, incluso del intestino, por los cuerpos de los parásitos y la presión sobre los nervios y sobre los vasos sanguíneos.

Otro modo de influir sobre el huésped es *quitándole los alimentos,* lo que puede tener cierta importancia en el caso de que los parásitos alcancen muy grandes dimensiones o se acumulen en suficiente cantidad.

La tercera forma es la *acción química.* Los productos de su actividad

vital, que eliminan los parásitos, poseen con frecuencia propiedades tóxicas, que transmitidas por la sangre a todo el cuerpo del huésped ejercen una acción patógena no ya parcial, sino total. Algunas lombrices de la clase de los cestodos pueden producir en el hombre una anemia maligna; en semejantes casos la sangre sufre cambios: disminuye el número de eritrocitos y aparecen sus formas degeneradas. Ciertas enfermedades debidas a la presencia de determinados parásitos tienen su origen en reflejos.

En esta categoría de influencias del parásito en el huésped, hay que incluir el fenómeno de los parásitos como *causa indirecta de otras enfermedades.* Las pequeñas heridas ocasionadas en el cuerpo del huésped por el aparato bucal son puerta abierta a la infección; por ellas pueden introducirse en el organismo del huésped bacterias patógenas.

Los parásitos cumplen una importante función como *transmisores de otras enfermedades.* Es frecuente que los ectoparásitos que se alimentan de sangre aporten a la herida producida por la picadura diferentes parásitos microscópicos capaces de producir una infección. A las enfermedades, cuyos agentes se propagan mediante transmisores, como son fundamentalmente los mosquitos y las garrapatas, se les ha dado, a propuesta del académico Pavlovski, el nombre de *transmisibles.* Las que forzosamente han de depender de estos transmisores se denominan *transmisibles obligatorias.* Forman parte de este grupo: las encefalitis de verano y primavera (la de garrapatas y la de mosquitos), la fiebre flebotómica, el tifus exantemático, la fiebre recurrente, el paludismo y la leishmaniosis.

Al mismo tiempo, hay una serie de enfermedades *transmisibles facultativas* en las que los transmisores son tan sólo uno de los modos de propagación. Pertenecen a este grupo diversas infecciones intestinales muy contagiosas, la fiebre esplénica, la brucelosis y la tularemia.

El sistema que emplean los agentes de las enfermedades transmisibles es diferente para cada enfermedad, y no específico. Por ejemplo, las bacterias del tifus abdominal pueden pasar al hombre por medio de las moscas, pero también pueden llegar a él por otro conducto. En estos casos suele decirse que las *vías de circulación* de los agentes patógenos son *difusas.* Por el contrario, existen enfermedades transmisibles que están *localizadas en focos;* su agente se encuentra en un sitio fijo, a veces muy limitado. Por ejemplo los portadores de los espiroquetos de las fiebres recurrentes de garrapatas son los roedores, entre otros, las ratas. Sus madrigueras son el *foco,* ya que allí viven las garrapatas, que se alimentan con la sangre del roedor y que al chupar la sangre de otros animales, incluído el hombre, le transmiten los espiroquetos.

El estudio de los focos naturales de enfermedades transmisibles se reduce a descubrir las vías de circulación de sus agentes. Este estudio es fundamental cuando se trata de organizar un sistema de medidas encaminadas a la destrucción de semejantes focos.

En la U. R. S. S. se ha realizado una enorme labor para determinar y localizar los focos de las enfermedades parasitarias. A este efecto se emprendieron expediciones a muy lejanos y diversos puntos del país. Además de ello, se sigue ampliando la red de centros de investigación científica y se impulsan los trabajos prácticos (Institutos bacteriológicos, Institutos tropicales con una red de estaciones antipalúdicas, contra la peste, etc.).

UNIDADES TAXONOMICAS FUNDAMENTALES

La clasificación de los organismos en grupos sistemáticos facilita su estudio. La taxonomía contemporánea refleja las relaciones de parentesco entre organismos con un origen y una filogenia comunes, a consecuencia de lo cual es una clasificación *natural* o filogenética.

La naturaleza orgánica se divide en dos reinos: de las plantas y de los animales. Los reinos vegetal y animal se dividen en *tipos* o *ramas*. El tipo es la categoría sistemática superior. Los tipos se dividen a su vez en *subtipos*, los subtipos en *clases*, las clases en *órdenes*, los órdenes en *familias*, las familias en *géneros* y los géneros en *especies*.

Se utiliza la *nomenclatura doble o binaria*, de la que es autor el naturalista sueco Carlos Linneo. Cada especie vegetal y animal tiene según ella dos nombres, el *genérico*, común a todas las especies del mismo género, y el *específico*, que denomina únicamente a dicha especie. Ambos nombres se escriben con palabras latinas: primero el nombre del género, con mayúscula; después, y con minúscula, el de la especie. Por ejemplo, trigo duro - *Triticum durum*, perro casero - *Canis familiaris*.

CAPITULO VIII

TIPOS DEL REINO VEGETAL

Todo el reino vegetal se divide en dos grupos, que se distinguen entre sí por el grado de diferenciación del organismo.

Los vegetales de organización superior aparecieron en la Tierra mucho más tarde que los de organización inferior. El cuerpo o aparato vegetativo de las plantas superiores incluye órganos altamente especializados, las hojas y el tallo. De ahí el nombre de *cormofíticas* o *cormofitas* (cormophyta), con que se las conoce; la mayoría de las plantas que lo integran poseen también raíz.

Todas las demás plantas se caracterizan por no estar diferenciados el tallo, las hojas y la raíz: su cuerpo se denomina *talo*. El nombre común de todos los tipos vegetales que constituyen este grupo inferior del mundo vegetal es el de *talofitas* (Tallophyta).

Las cormofitas incluyen una serie de grupos bastante bien delimitados, que poseen, tanto en su morfología como en los modos de reproducirse y desarrollarse, rasgos claros de procedencia común y de relaciones de sucesión.

Forman parte de las plantas talofitas un gran número de tipos muy diversos de vegetales, que a veces se diferencian notablemente unos de otros. La filogenia de algunos de ellos no ha sido hasta la fecha lo suficientemente aclarada.

Las plantas inferiores o talofitas (Tallophyta) se subdividen en los siguientes tipos: bacterias o esquizomicetos (Bacteria); cianofíceas o algas azules (Cyanophyta), clorofíceas o algas verdes (Chlorophyta), algas diatomáceas (Diatomeae), algas pardas o feofíceas (Phaeophyta), rodofíceas, florídeas o algas rojas (Rhodophyta), mixomicetos (Mixophyta), hongos (Fungi) y líquenes (Lichenes). A las plantas superiores (Cormophyta) pertenecen los tipos: briofitas o muscíneas (Bryophyta), pteridofitas (Pteridophyta), licopodíneas (Lycopsida), articuladas (Sphenopsida), gimnospermas (Gymnospermae) y angiospermas (Angiospermae).

PLANTAS INFERIORES. TALOFITAS (THALLOPHYTA)

Las formas iniciales de los organismos vegetales y animales fueron, al parecer, los mastigóforos o flagelados. Los representantes actuales de este grupo poseen caracteres de organización vegetal y animal: son formas que parecen encontrarse en los límites entre ambos reinos. Sin embargo, los flagelados actuales han recorrido un largo camino en su evolución y disponen de una estructura bastante compleja: tienen núcleo y muchos de ellos membrana. No cabe duda de que los primeros organismos no eran aún células

diferenciadas. Por tanto, es lógico pensar que los mastigóforos de hoy descienden de otros organismos más simples, que fueron el comienzo de las dos ramas del mundo orgánico, los vegetales y los animales. Estudiaremos los flagelados actuales en el capítulo "Tipos del reino animal".

TIPO BACTERIAS (BACTERIA)

Las bacterias o esquizomicetos son los más pequeños de todos los microorganismos visibles al microscopio ordinario. Sus dimensiones se miden en micras y fracciones de micra. En una gota de agua caben varios centenares de millones. Entre las bacterias patógenas de menor tamaño se encuentran el

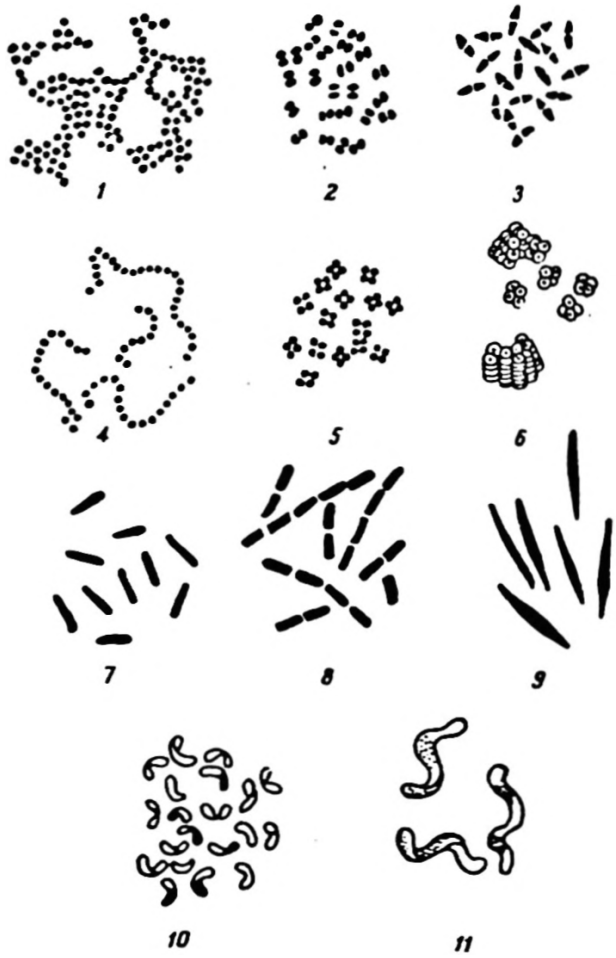


Fig. 96. Principales formas de bacterias: 1-6, cocos; 7-9, bacilos; 10, vibriones; 11, espirilos.

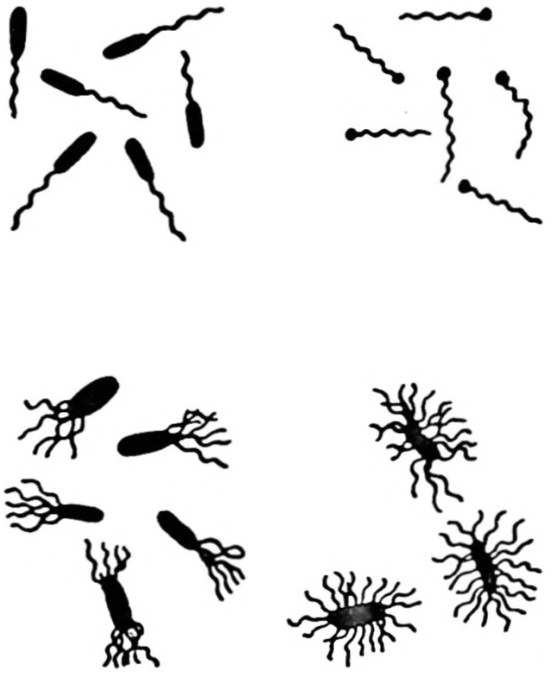


Fig. 97. Esquizomicetos con flagelos.

agente de la tularemia (0,2 μ de ancho y 1-3 μ de longitud) y el de la brucelosis (0,3-0,5 μ de ancho, 0,5-2 μ de largo).

En la actualidad se presta gran atención al estudio de formas de menor tamaño todavía, los *virus filtrables* o *ultravirus*. Para estudiarlos es necesario recurrir al microscopio electrónico.

Los ultravirus, al igual que muchas bacterias, son agentes de enfermedades de plantas y animales.

Las bacterias se caracterizan por la poca variedad de formas que presentan. Las fundamentales son las siguientes: el *coco*, de forma esférica; los *bacilos* o *bacterias propiamente dichas*,[1] que tienen forma de bastoncito más o menos alargado; el *vibrión*, semejante a una coma, y el *espirilo*, de forma helicoidal (fig. 96). Las bacterias se presentan frecuentemente agrupadas, originando *diplococos* y *diplobacilos* (si la asociación es de dos), *estreptococos* y *estreptobacilos* (si constituyen una cadena), etc.

Los cocos son inmóviles. Las demás formas de bacterias se desplazan frecuentemente, gracias a movimientos de todo el cuerpo o bien por medio de unos organoides motores diferenciados, los cilios o pestañas vibrátiles (figura 97).

En el cuerpo de las verdaderas bacterias se distinguen el *protoplasma* y la *membrana*. Solamente en algunas bacterias se logran descubrir, con ayuda de métodos de investigación especiales, formaciones que representan, al parecer, diferentes etapas de estructuración del núcleo. Las bacterias pueden ser consideradas como organismos *anteriores a la célula*, es decir, que en su evolución no han llegado a diferenciar el cuerpo en citoplasma y núcleo.

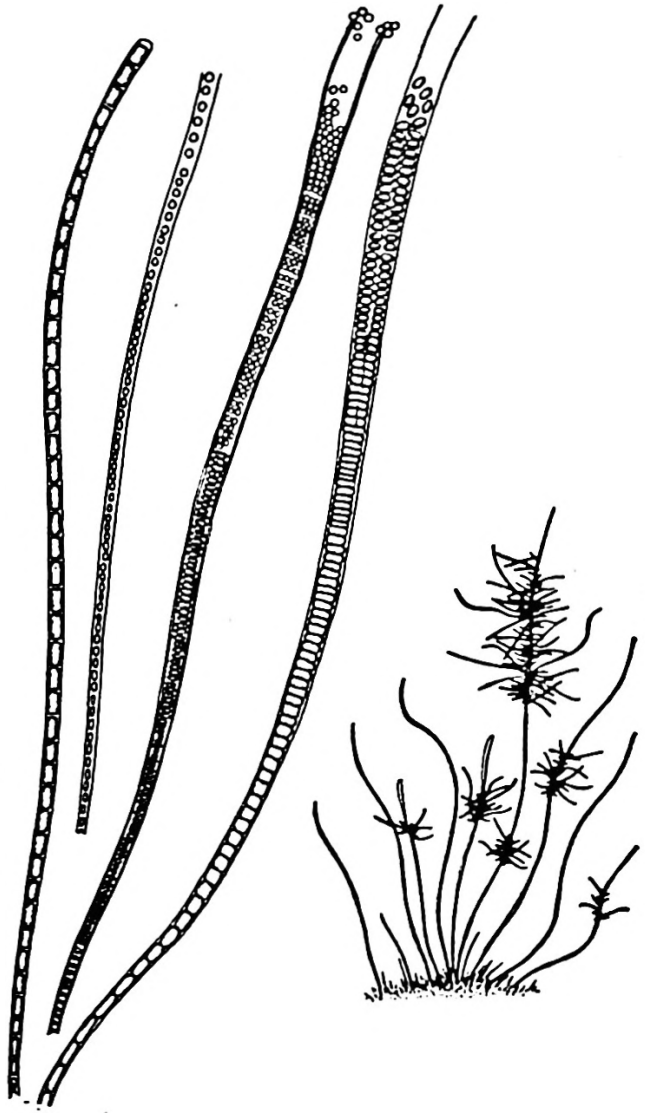


FIG 98. Esquizomicetos filamentosos (*Crenothrix*).

La membrana de las bacterias no suele ser de celulosa, que es lo característico en la mayoría de las plantas verdes. La integran frecuentemente sustancias que contienen nitrógeno. Algunas bacterias segregan alrededor de su cuerpo una mucosidad que las envuelve, agrupándolas entre sí hasta constituir filamentos u otra forma de colonias (fig. 98).

Ciertas bacterias son de coloración purpúrea, verde o amarillo-dorada.

Las bacterias se alimentan a expensas de las sustancias nutritivas que absorben, seleccionándolas, del medio ambiente.

[1] Los bacilos son más largos y capaces de formar esporas; las bacterias (en la acepción señalada) son menores y no forman esporas.

Su reproducción es activísima y asexual. No se ha observado en las bacterias la reproducción anfigónica.

Cuando el medio exterior cambia desfavorablemente, las bacterias originan esporas (fig. 99).

La capacidad de las bacterias para formar esporas se aprovecha en Medicina, Microbiología e incluso en la práctica culinaria; debido a la gran estabilidad de las esporas, su esterilización se lleva a cabo en autoclaves a una presión superior a la normal y una temperatura de más de 100°, pero repitiendo la operación al cabo de cierto tiempo (un día), en el transcurso del cual las esporas que estuvieron sometidas a esta temperatura tienen tiempo de crecer y originar bacterias activas (formas vegetativas), que al ser calentadas por segunda vez, mueren.

Entre las bacterias se presentan las formas más variables de nutrición, las hay tanto heterótrofas como autótrofas. Dentro de las heterótrofas hay formas saprofíticas y parasitarias.

Las bacterias parásitas se caracterizan, a pesar de su semejanza morfológica, por sus grandes diferencias fisiológicas; producen enfermedades completamente distintas (el bacilo del tifus y el bacilo de la tuberculosis).

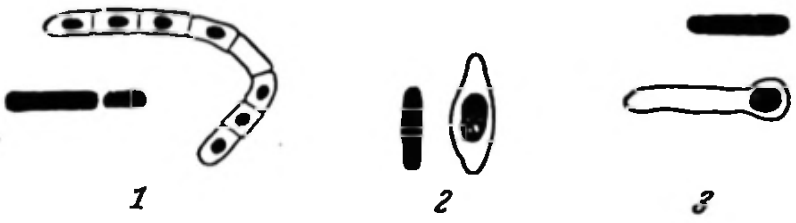


FIG. 99. Esporas de bacterias: 1, bacilo del heno; 2, clostridium; 3, bacilo del tétano.

Dentro de las bacterias autótrofas hay que distinguir las quimosintéticas y las fotosintéticas. Estas últimas realizan la fotosíntesis únicamente a la luz, lo mismo que las plantas verdes. Los pigmentos que pueden observarse en su cuerpo se aproximan a la clorofila.

Son un ejemplo de bacterias fotosintéticas las *bacterias purpúreas*.

Los microorganismos desempeñan un papel muy importante en la circulación de las sustancias en la naturaleza (véase pág. 30) y guardan íntima relación con la actividad económica del hombre.

Las bacterias pueden ser *aerobias y anaerobias*. Para las llamadas anaerobias obligatorias el oxígeno libre es un veneno. Existe también un grupo intermedio, el de las anaerobias facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia del oxígeno libre.

Un ejemplo de organismo aerobio obligatorio, que necesita de un amplio y constante acceso de oxígeno libre, lo ofrece el bacilo de la tuberculosis. Son anaerobias obligatorias algunas bacterias del suelo como el clostridio, descubierto por S. N. Vinogradski; una de las especies de esta bacteria es, cuando se alimenta de glúcidos, la que origina la fermentación del ácido oleico; en otras ocasiones fija el nitrógeno libre. Son anaerobias obligatorias las bacterias que provocan la gangrena gaseosa y el bacilo productor del tétano.

Los microorganismos son muy lábiles. Al variar las condiciones, unas formas se transforman en otras: las visibles en invisibles, las saprofitas en parásitas, las patógenas en no patógenas, pero que inmunizan contra determinadas enfermedades.

Las investigaciones más recientes llevadas a cabo en la U. R. S. S. muestran la posibilidad de actuar sobre los microbios en un sentido determinado y utilizarlos en bien del hombre (en la Agromicrobiología, en Medicina, Veterinaria y otras ciencias).

La filogenia de los tipos de bacterias está aún lejos de haberse aclarado, debido a lo complejo del problema y a la insuficiencia y pobreza de los datos paleontológicos.

La organización simple y la débil diferenciación morfológica de las bacterias permiten atribuir a estas formas un origen antiquísimo. Probablemente, las bacterias evolucionaron durante grandes intervalos de tiempo en un sentido de mayor complicación, diferenciación y especialización de su metabolismo. Muchos autores consideran, partiendo del ciclo de desarrollo y de los datos morfológicos, que el tipo bacterias es un grupo heterogéneo en cuanto a su origen.

Cualquiera que sea este origen, se puede afirmar que dentro del tipo bacterias, quizá mixto, las formas parásitas han surgido, sin duda, después de las libres. Su aparición y ulterior especialización están relacionadas con la aparición en la tierra de los organismos superiores complejos.

ALGAS

Las algas representan un amplio grupo formado por varios tipos de plantas inferiores. A pesar de las grandes diferencias que hay dentro de ellas, poseen algunos rasgos comunes: las algas son, en general, plantas acuáticas, la alimentación de la inmensa mayoría de ellas es autótrofa, principalmente por medio de la fotosíntesis. La clorofila, relacionada con el proceso de fotosíntesis, es frecuente que esté acompañada de otros pigmentos: de color azul, rojo o pardo, que dan a las plantas diferente tonalidad. El color de las algas sirve para denominar a algunos de los grupos. En cuanto a su estructura, las algas son plantas talofitas, es decir, que su cuerpo no se diferencia en raíz, tallo y hojas, a pesar de que algunas de ellas alcanzan enormes dimensiones y se asemejan por su aspecto exterior a los vegetales superiores.

Los tipos de algas se diferencian por la estructura de sus células y del talo, por el modo de reproducirse y por otros caracteres.

TIPO CIANOFICEAS O ALGAS AZULES (CYANOPHYTA)

El nombre de algas azules lo deben las cianofíceas a la presencia de un pigmento complementario de color azul, la ficocianina, que enmascara el color verde de la clorofila.

Las algas azules, lo mismo que las bacterias, son organismos de formación anterior a la célula, ya que su cuerpo no está dividido en citoplasma y núcleo.

En el protoplasma de las cianofíceas no hay plastidios diferenciados morfológicamente, como sucede en otras plantas clorofílicas. Los pigmentos están directamente relacionados con el mismo protoplasma, con su capa periférica. La superficie del cuerpo de las algas azules está recubierto por una membrana de pectina[1], la mayoría de las veces, y de celulosa otras. La mayor parte constan de una célula, aunque las hay constituídas por más de una. Sus cuerpos se presentan frecuentemente formando filamentos multicelulares (fig. 100).

[1] Pectinas, sustancias orgánicas especiales, muy estables.

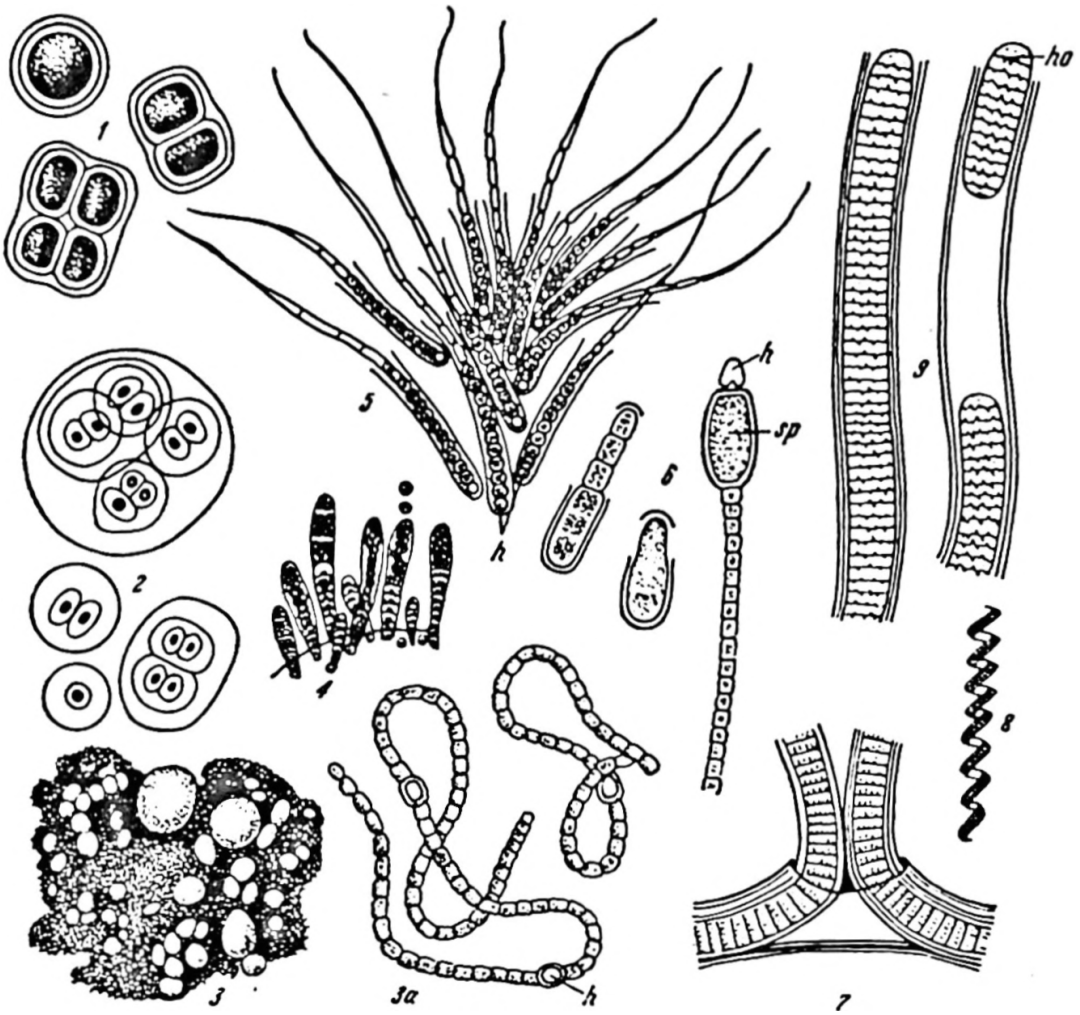


Fig. 100. Diferentes formas de algas azules: 1, *Croococcus;* 2, *Gleocapsa;* 3, *Nostoo* (colonia y filamentos): 4, *Chamaesiphan;* 5, *Rivularia;* 6, *Anabaena;* 7, *Scytonema* (se ven las vainas mucilaginosas); 8, *Spirulina;* 9, *Lynghoya* (se ven las vainas mucilaginosas); *h*, heterocistos; *sp*, esporas; *ho*, hormogonio.

Entre las cianofíceas las hay que viven aisladas y otras que se encuentran constituyendo colonias. Las colonias de uno de los géneros, *Rodinostoc,* sobrepasan a veces las dimensiones de un huevo de gallina.

Lo mismo que sucede con las bacterias, no se conoce ninguna clase de sexualidad en las algas azules. La reproducción tiene lugar según diferentes formas de división. En las filamentosas se produce, de tiempo en tiempo, la descomposición del filamento en segmentos, que de una u otra forma se separan del cuerpo de la madre y dan lugar a un nuevo filamento. En condiciones adecuadas, algunas cianofíceas originan, igual que las bacterias, esporas y otras formas inmóviles.

Este tipo de algas está muy extendido. Sus condiciones de vida son muy diversas. Las diferentes especies viven tanto en agua dulce como salada. Se las encuentra lo mismo en las regiones septentrionales, en que la temperatura del agua desciende periódicamente muy por debajo de los 0°, que en los manantiales calientes, con una temperatura permanente de 70° a 80° y más.

La inmensa mayoría de las cianofíceas vive en el agua; sin embargo, bastantes especies han pasado a tierra. Fijadas a las piedras y las rocas,

contribuyen, con el musgo y los líquenes, al proceso de formación del suelo. Cuando se instalan en éste, aumentan su fertilidad, al enriquecerlo con productos orgánicos.

Algunas algas azules resisten no sólo las infecciones orgánicas, sino también sustancias que matan a casi todos los seres vivos, como el ácido sulfhídrico, desprendido por algunas bacterias de la putrefacción.

Las cianofíceas son una importante fuente de alimentación para muchos animales acuáticos, incluso para los peces. Algunas especies las utiliza en su alimentación el hombre.

Los restos de las algas azules muertas, al pudrirse en las orillas de los mares contribuyen, frecuentemente, junto con las bacterias sulfurosas purpúreas, a la formación de barros medicinales (por ejemplo, en el lago de aguas sulfurosas que hay cerca de la ciudad de Kuíbishev, en los barros del lago amargo-salado de Mainakovski, cerca de Eupatoria, en Crimea, etc.).

Está muy extendida la simbiosis de las cianofíceas y otros microorganismos, como los protozoarios y los hongos (algunos líquenes).

Algunas particularidades de la estructura de este tipo de algas (la falta de diferenciación en núcleo y citoplasma) y los modos de reproducción (la ausencia de reproducción sexual), las aproximan a las bacterias. Las algas azules encontradas en las capas más antiguas de la corteza terrestre prueban que estos organismos son filogenéticamente de los más antiguos.

TIPO CLOROFICEAS O ALGAS VERDES (CHLOROPHYTA)

Las clorofíceas se caracterizan por su coloración verde, debido a la presencia en ellas de un solo pigmento, la clorofila. Pertenece a este tipo una enorme cantidad de algas muy comunes.

Se caracterizan por la gran variedad de formas y tamaños (figs. 101 y 102).

Las células de las algas verdes tienen una estructura típica: el protoplasma está diferenciado en núcleo, citoplasma y cromoplastos de muy diferentes formas y dimensiones. En los cromoplastos hay con frecuencia pirenoides —espacios diferenciados—, alrededor de los cuales se acumulan los productos de la fotosíntesis. Algunos grupos de algas de gran tamaño, sobre todo marinas, se caracterizan por su talo multinuclear muy ramificado, pero que no llega a diferenciarse en células aisladas, como sucede, por ejemplo, con las caulerpáceas.

Las células de las clorofíceas suelen tener membrana celulósica. Su alimentación es, por regla general, autótrofa.

En condiciones favorables, la mayoría de las algas verdes producen durante toda su vida nuevas células, lo que origina un crecimiento ininterrumpido de su talo. El cambio de condiciones origina con frecuencia gran variedad en la forma de las algas.

Su reproducción es sexual y asexual. Un procedimiento especial de reproducción ágama de muchas algas es el que se realiza mediante *zoosporas* móviles, redondeadas, ovaladas o piriformes, dotadas de cilios, con una mancha ocular roja en la parte anterior y un cromoplasto verde (fig. 103). Después de su desarrollo dentro de la célula del organismo materno, las zoosporas salen flotando a la superficie. Posteriormente a un período de desarrollo en el agua vienen las otras transformaciones morfológicas; las zoosporas se

detienen, se adhieren al substrato y pierden los cilios, originando cada una un nuevo filamento a un alga de forma distinta.

Entre las algas verdes se observan diferentes formas de reproducción sexual, desde la isógama hasta la oógama (véase pág. 79).

Es típico en la mayoría de las algas verdes el comienzo, después de la fecundación, de una fase de reposo.

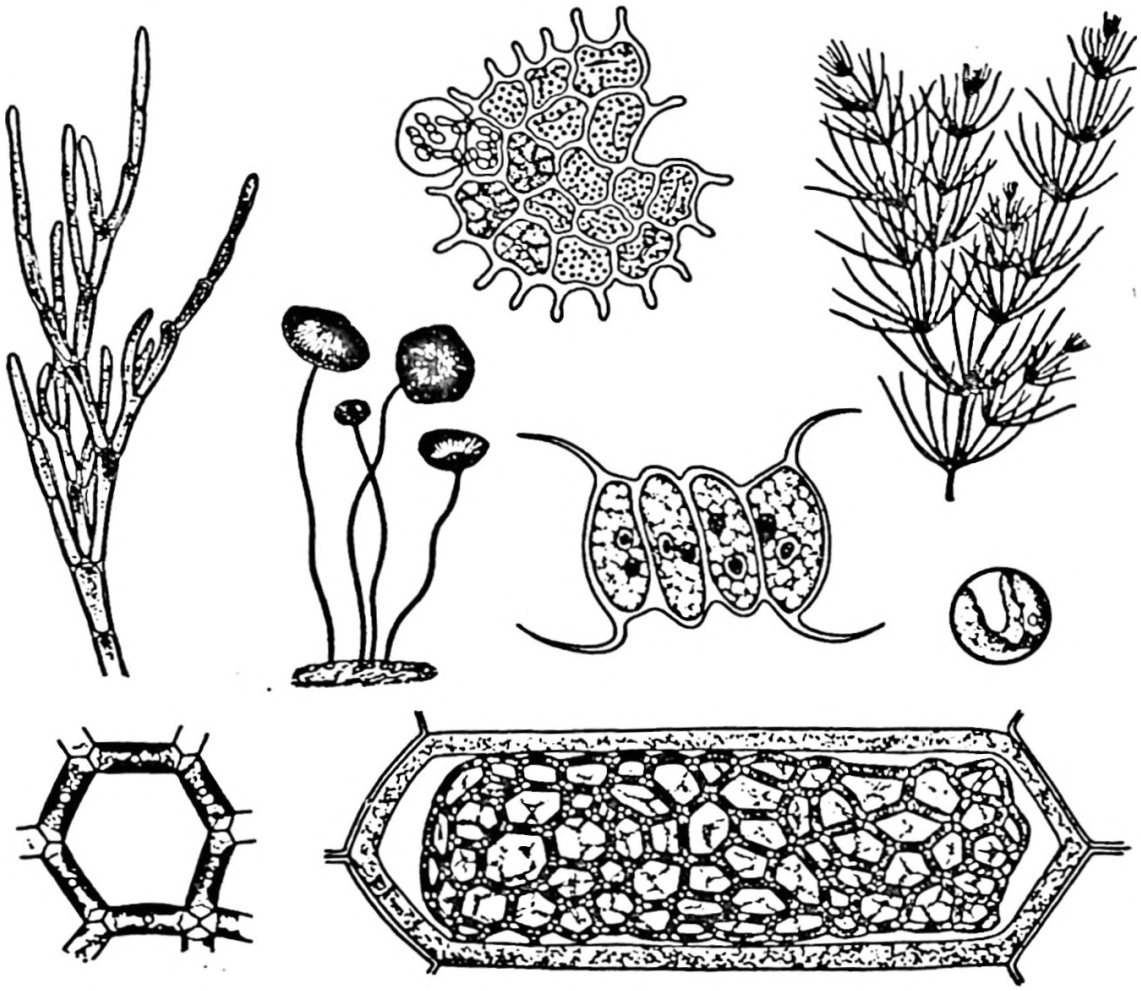


FIG. 101. Diferentes formas de algas.

El *zigoto,* producto de la fusión de dos gametos, adquiere configuración redondeada, se rodea de una fuerte capa protectora, se llena de productos nutritivos y en tal estado resiste las condiciones desfavorables del invierno; en primavera, cuando vuelven las circunstancias propicias, se desarrolla y da lugar a una nueva alga.

La presencia entre las algas verdes de formas ciliadas indica su proximidad filogenética con los flagelados.

TIPO DIATOMACEAS O ALGAS SILICEAS (DIATOMEAE)

Las diatomáceas o diatomeas son algas de color verde pálido, ya que además de la clorofila tienen un pigmento amarillo, la *diatomina.* Las cé-

lulas de estas algas poseen una membrana silicificada, a modo de caparazón llamado frústula, formado por dos valvas adornadas de estrías y relieves muy finos. Las células constan de protoplasma, núcleo y una vacuola central. Los cromoplastos ofrecen el aspecto de granos o grandes plaquitas. Pueden ser unicelulares y también vivir en colonias.

Las diatomeas se reproducen solamente por división. Están muy extendidas en el mar y en los pantanos y demás depósitos de agua dulce. Algunas de ellas viven en el fondo; otras, en cambio, se mantienen en suspensión formando parte del plancton. Después de su muerte, los caparazones se depositan en el fondo, formando extensos depósitos de una sustancia pulverulenta llamada harina fósil o trípoli, que se ha encontrado en los terrenos de períodos geológicos antiguos. Por su origen, las diatomeas parecen aproximarse a las algas verdes.

FIG. 102. Algas de grandes dimensiones.

TIPO FEOFICEAS O ALGAS PARDAS (PHAEOPHYTA)

Las algas pardas presentan una coloración verdosa pardoamarillenta. Contienen, además de clorofila, otros pigmentos que las tiñen de color rojo pardo.

Los cromoplastos de estas algas son uniformes: tienen el aspecto de placas ovaladas o granos. Entre sus características conviene hacer resaltar la estructura de su membrana, muy frecuente en este tipo de algas: la capa interior es de celulosa; las exteriores suelen estar constituídas por sustancias pécticas; estas capas se hinchan en el agua y adquieren un carácter mucilaginoso. El protoplasma está diferenciado en núcleo y citoplasma. Las dimensiones del cuerpo son muy variadas, lo mismo que su grado de diferenciación (figura 103). La multiplicación de los feofíceas puede ser asexual y sexual. Esta última se presenta únicamente en un número reducido de especies y siempre con un carácter muy complejo. No existen las formas unicelulares.

Las algas pardas viven lo mismo en las regiones templadas y tropicales de los océanos que en las frías. Son pocas las que se encuentran a grandes profundidades. Las feofíceas profundas se adhieren a las piedras del fondo y desarrollan en dirección a la superficie del mar las partes foliáceas de

su talo, y ayudan a conservar la posición vertical las vesículas aeríferas que aquél presenta. Pertenecen a ellas la *Macrocystis,* cuya lámina alcanza 100 m. de longitud, y otras que existen en gran cantidad en el Mar de los Sargazos, en la parte tropical del Océano Atlántico (fig. 104).

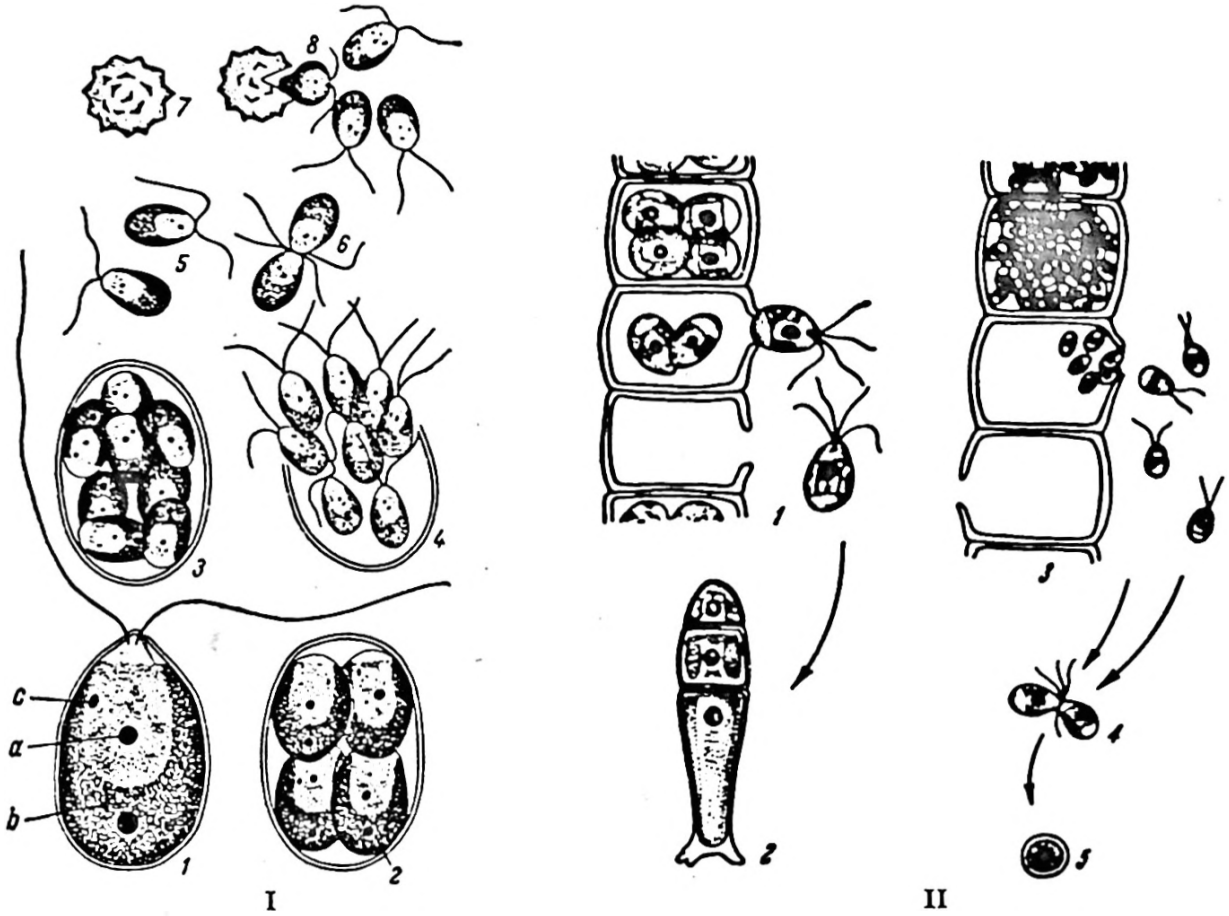


Fig. 103. Formación de zoosporas y gametos en las algas verdes: I. Clamidomonadáceas: 1, estructura del alga; 2, reproducción ágama; 3-8, reproducción anfigónica; 6, copulación de los isogametos; 7-8, zigoto y su desarrollo; *a*, núcleo; *b*, cromatóforos; *c*, mancha ocular. II. *Ulothrix*: 1, formación de las zoosporas; 2, crecimiento de las zoosporas; 3, formación de los isogametos; 4, copulación; 5, zigoto.

Las algas pardas sirven de alimento a numerosos animales marinos. Muchas de ellas las emplea en su comida el hombre, sobre todo algunas especies de laminarias y otras algas, conocidas con el nombre de coles marinas. Las hay que sirven de alimento al ganado. Estas algas contienen mucho potasio, debido a la cual son un valioso abono potásico y buena materia prima para obtener este elemento. En algunas hay gran cantidad de yodo, y sirven para extraerlo. De aquí su valor dietético y medicinal, y su empleo en la alimentación. También se obtiene el agar o agar-agar, sustancia constituida por una mezcla de diferentes polisacáridos, muy utilizada en Microbiología y también en confitería. Producen asimismo estas algas sustancias adherentes, que se utilizan en la industria textil y en alguna otra.

La presencia de fases ciliadas en el ciclo de desarrollo de las feofíceas indica que este grupo tiene antecesores flagelados. Las algas pardas se encuentran en los sedimentos de períodos geológicos antiquísimos.

TIPO RODOFICEAS, FLORIDEAS O ALGAS ROJAS (RHODOPHYTA)

Al tipo de las algas rojas o rodofíceas pertenece un grupo perfectamente delimitado de algas, que poseen muchos rasgos comunes a pesar de la gran variedad de sus representantes.

Lo mismo que las algas pardas, las florídeas son, con contadas excepciones, algas marinas, y también se mantienen adheridas.

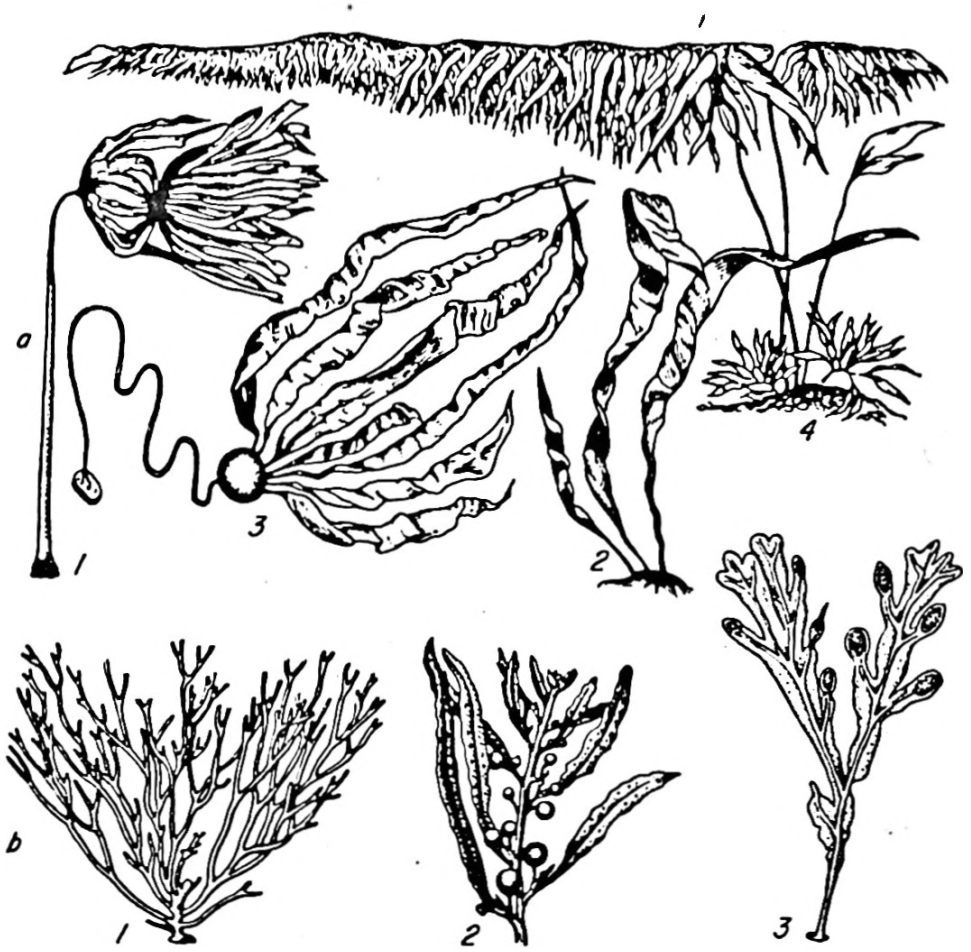


FIG. 104. Algas pardas: *a*, laminarias; 1, 2, distintas especies de laminarias; 3, *Nereocystis*; 4; *Macrocystis*; *b*, fucáceas; 1, *Fucus*; 2, *Cytoseira*; 3, *Sargassum*.

Los representantes de organización más sencilla son filiformes (no existen algas rojas unicelulares). El cuerpo de las florídeas superiores se presenta frecuentemente con ramificaciones muy complicadas (fig. 105); sin embargo, no llega a alcanzar las gigantescas dimensiones de las feofíceas.

Las células, cuyo protoplasma tiene núcleo diferenciado, citoplasma y cromoplastos, se caracterizan, lo mismo que en las algas pardas, por la presencia de una membrana de celulosa unida a sustancias pectínicas, que se hinchan en el agua y se hacen mucilaginosas.

Las algas rojas carecen por completo de fases ciliadas en su desarrollo. Se reproducen por anfigonia (oogamia) y asexualmente (mediante esporas que carecen de movimiento). Ambos procedimientos son bastante específicos, sobre todo el sexual, que en ciertos grupos superiores adquiere una gran complejidad.

Las rodofíceas también son una fuente para la obtención de yodo y agar-agar; algunas especies las utiliza el hombre en su alimentación o para nutrir al ganado.

Es interesante señalar que algunas especies de florídeas han sido recientemente descubiertas en gran cantidad en la Unión Soviética en lagos salados continentales, por ejemplo, en los Urales.

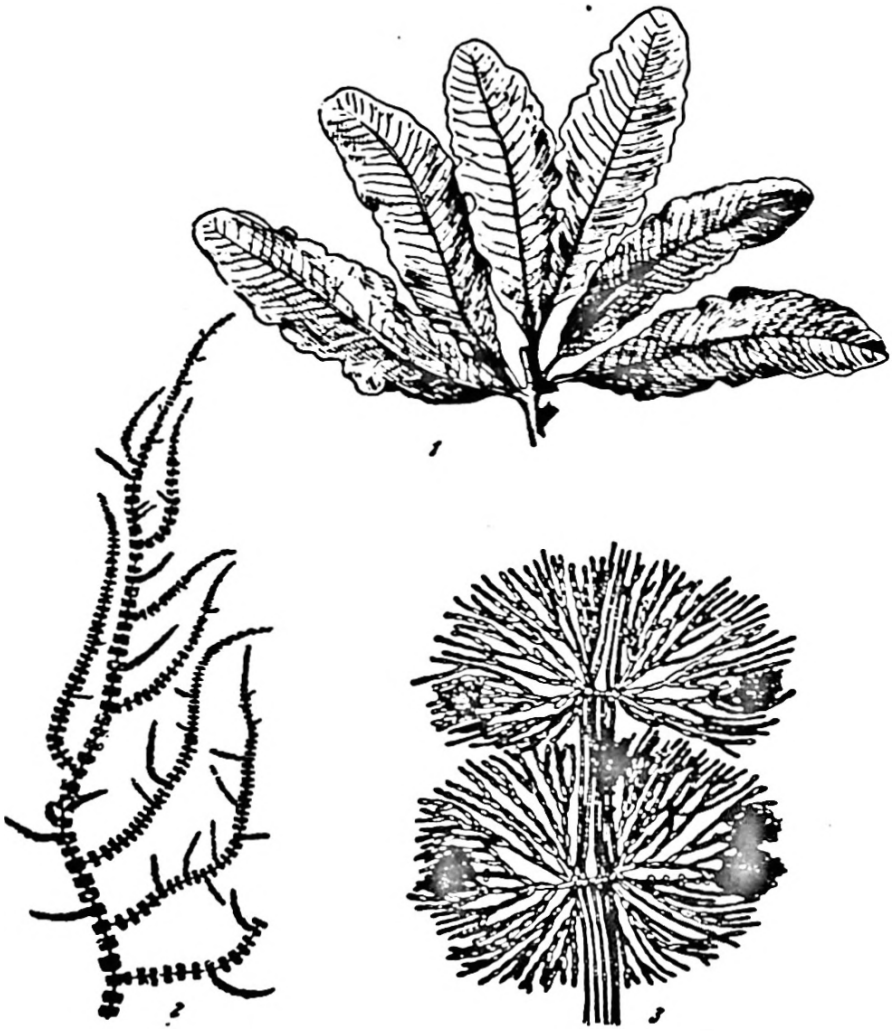


FIG. 105. Algas rojas: 1, *Delesseria;* 2 y 3, *Batrachospermum.*

Todo induce a suponer que la inmensa mayoría de las algas proceden de antecesores flagelados; en el ciclo de desarrollo de la mayoría de los tipos de algas hay fases ciliadas. Unicamente constituyen una excepción en este sentido las algas azules y rojas. La ausencia en ellas de fases ciliadas dificulta la aclaración de su filogenia; sin embargo, esta circunstancia aproxima a los dos grupos entre sí. Las analogías entre ambos tipos están también confirmadas por las combinaciones de sus pigmentos, que son semejantes. Sin embargo, las cianofíceas se caracterizan por una estructura muy simple: pueden ser incluidas en las algas de organización más baja; mientras que las rojas, lo mismo que las pardas, son representantes superiores de algas. Las rodofíceas han aparecido en la tierra mucho después que las cianofíceas. Por eso es de suponer que las algas rojas y las azules tienen antecesores co-

munes y han recorrido un camino específico y complejo de larga evolución. Las algas pardas son más antiguas que las rojas. Los restos de las primeras feofíceas se han encontrado en estratos muy primitivos correspondientes a los primeros períodos de la era Paleozoica.

TIPO MIXOMICETOS (MIXOPHYTA)

Pertenecen a los mixomicetos gran cantidad de especies, la mayoría de vida saprofítica. Su cuerpo, llamado *plasmodio*, es en realidad una masa de protoplasma desnudo con gran cantidad de núcleos. Los plasmodios se desplazan con movimientos ameboideos. Generalmente se encuentran dentro de un substrato (hojas semiputrefactas, ramas, corteza de los árboles, etc.). Durante su período de reproducción, el plasmodio sale a la superficie del substrato; presenta entonces la apariencia de la masa de pan, con *esporangios*. Los esporangios se cubren de una capa resistente, y en ellos se desarrollan las *esporas*, que se convierten en *zoosporas* con un flagelo. Estas se agrupan formando *mixamebas*, que después se unen constituyendo el cuerpo del mixomiceto. Dentro de este tipo de organismos se presentan también formas parásitas, como la plasmodiófora (*Plasmodiophora brassicae*), que es causa de la enfermedad llamada hernia de la col. La filogenia de los mixomicetos no está muy clara.

TIPO HONGOS (FUNGI)

Los hongos son un tipo de plantas sin clorofila, que han pasado de la vida acuática a la terrestre. A diferencia de las algas, todos los hongos son organismos heterótrofos. Los hay saprofitos y parásitos.

A pesar de su variedad morfológica, los representantes de este tipo presentan los siguientes rasgos comunes:

1. El cuerpo de los hongos, llamado *micelio*[1], consta de unos largos filamentos, las *hifas*, que se entrecruzan de forma más o menos compacta.

2. Con su paso a la vida terrestre, los hongos han elaborado, en el proceso de su evolución, un procedimiento especial de reproducción: todos ellos se multiplican mediante esporas, formaciones microscópicas, que el viento traslada con facilidad. Las esporas pueden soportar durante largo tiempo condiciones adversas sin perder su facultad vital.

Los micelios de los diferentes hongos se asemejan mucho por su forma (fig. 106). Sin embargo, los órganos que originan las esporas son en los distintos grupos extraordinariamente diversos.

Se dividen en dos grandes grupos: *inferiores* y *superiores*. Las hifas de algunos hongos inferiores no están divididas en células. La membrana no suele contener celulosa, sino pectinas y otras sustancias. El micelio de los hongos superiores es pluricelular. Forma con frecuencia parte de la membrana una sustancia nitrogenada, semejante a la quitina de los insectos. Durante el proceso de actividad vital, se acumula en el cuerpo de los hongos gran cantidad de glucógeno y en ocasiones grasas.

Del micelio se separa a veces una pequeña parte, que origina nuevos seres. Eeste es uno de los modos de reproducción asexual. Así es como se for-

[1] Del griego *myke*, hongo.

man, por ejemplo, los *esclerocios,* uniones de hifas cargadas de materia nutritiva, que se recubren de una capa resistente y son capaces de soportar los períodos desfavorables.

Otro de los modos de reproducción ágama, que conviene señalar, es el de la *gemación* de los micelios, consistente en que algunas células aisladas se redondean y pueden llegar a independizarse unas de otras.

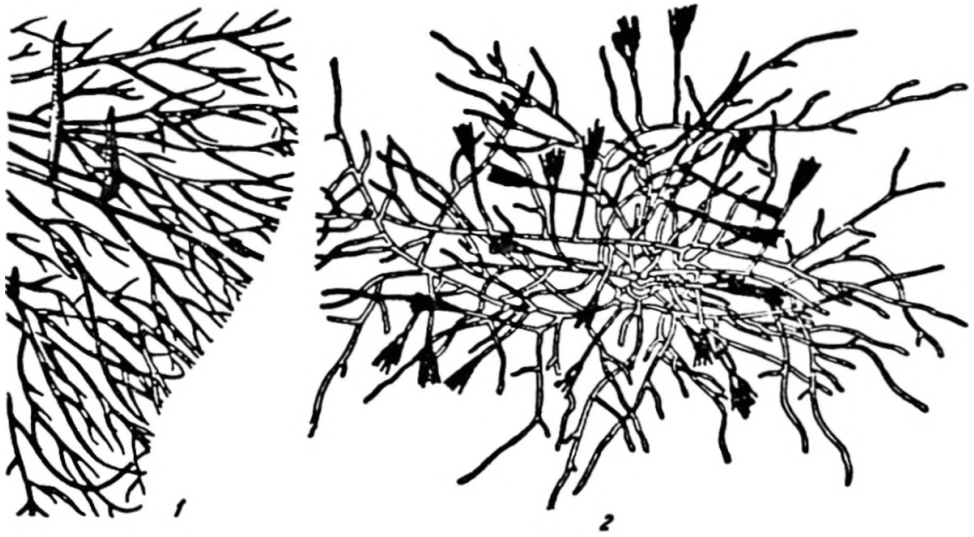


FIG. 106. Micelios: 1, *Mucor;* 2, *Penicillium*: micelio pluricelular y conidióforos.

Un ejemplo clásico de esta reproducción lo ofrece la gemación de las levaduras y algunos otros hongos (fig. 107).

Cuando las condiciones de existencia se hacen difíciles, se presentan otras formas de reproducción. Según el estado de desarrollo del organismo, la influencia del medio exterior y el carácter de sus cambios, tiene lugar la formación de esporas o el proceso sexual.

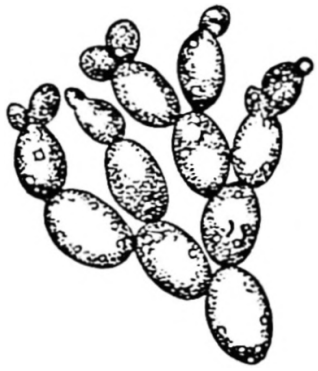


FIG. 107. Gemación del micelio de la levadura.

Morfológicamente, la esporulación en los hongos se caracteriza por la aparición de un conjunto de esporas en el extremo de una hifa, que recibe el nombre de conidióforo, o en receptáculos especiales, los esporangios, que aparecen en la cúspide de las hifas.

En la fig. 108 se representa el desarrollo de un esporangio en el micelio del *Mucor mucedo*: una de las hifas (el esporangióforo) se eleva por encima del sustrato, ramificándose y abultándose su extremo, dando lugar a un esporangio esferoidal, en el que se forman gran cantidad de esporas: todo su contenido se convierte en esporas, especie de bolitas ovaladas sueltas, que son una acumulación de citoplasma que contiene uno o varios núcleos y que están cubiertas por una capa resistente. A medida que maduran los esporangios, se oscurece su color, se rompe la capa que los envuelve y las esporas quedan libres. Gracias a su ligereza, pueden mantenerse durante

largo tiempo en el aire, conservando su capacidad vital. En algunos hongos inferiores, que aún no han perdido su relación con el agua, aparecen en receptáculos análogos zoosporas móviles dotadas de cilios (fig. 108), que confirman la relación que los antecesores de los hongos tenían con el medio de vida acuático.

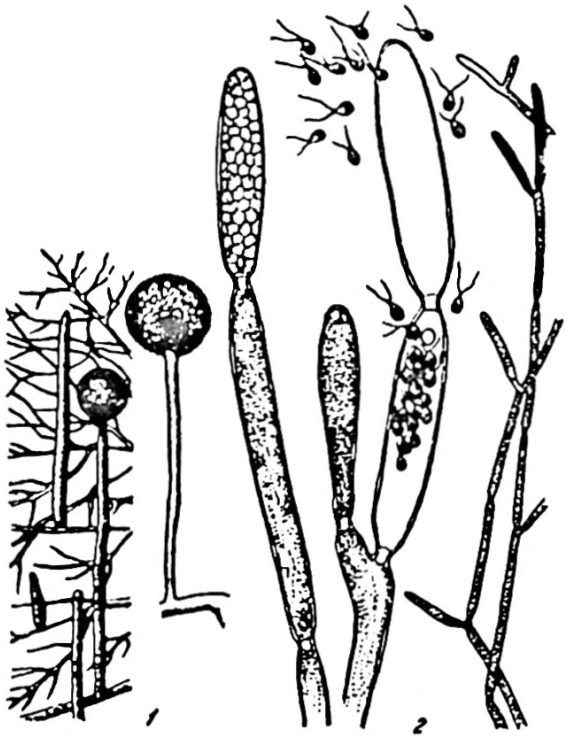


FIG. 108. Espongiarios: 1, *Mucor;* 2, zoosperangios de saprolegniáceas.

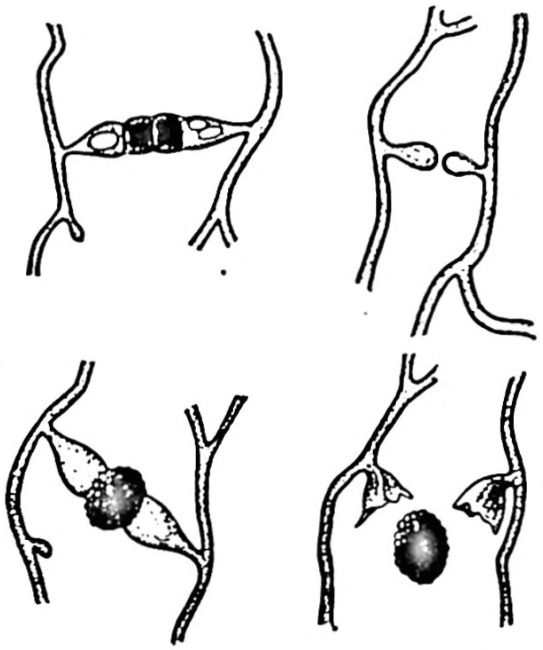


FIG. 109. Zigogamia en el *Mucor.*

Los esporangios de los hongos superiores no se originan nunca directamente en los micelios. Las esporas se desarrollan siguiendo otros procedimientos. Es característico de los hongos superiores la formación en los micelios de un complicado entrelazamiento de hifas, que constituyen el *cuerpo fructífero* o *aparato esporífero*: en este último se forman de una u otra manera las esporas. Un ejemplo de cuerpo fructífero lo ofrecen numerosas variedades de los bien conocidos hongos de sombrerillo, que constan de un pedúnculo y un píleo o sombrerete (lo que en el lenguaje corriente solemos llamar "seta"). Las esporas se forman en la superficie inferior del sombrero, en unas plaquitas distribuidas radialmente o en cámaras y canales, que se comunican con el exterior mediante pequeños orificios.

El proceso de reproducción sexual en los hongos inferiores puede seguirse fácilmente. Adquiere las modalidades más diversas, desde la isogamia (gametos móviles) hasta la oogamia. Existe además una forma especial de proceso sexual, la zigogamia. La fig. 109 muestra cómo se realiza este proceso en los mucorales; dos hifas, de diferentes micelios, se unen por sus extremos, y se separan mediante un tabique del resto de la hifa. Los citoplasmas y los núcleos de las partes aisladas se funden; el zigoto formado se reviste de una gruesa membrana pigmentada y verrugosa, y pasa al estado de "reposo", en el que puede permanecer durante un largo periodo de condiciones desfavorables sin perder su vitalidad.

En los hongos superiores el proceso sexual adquiere formas muy variadas; en muchos de ellos no se presenta.

Hongos parásitos. El ciclo de desarrollo adquiere gran complejidad y extremada variedad en los hongos parásitos.

FIG. 110. Cornezuelo de centeno (*Claviceps purpurea*): *a*, espiga de centeno con esclerocios de *Claviceps;* b, *esclerocio* con los aparatos esclerífe-ros.

La inmensa mayoría de los hongos parasitarios viven en las plantas, y sólo un número pequeño de ellos, en los animales.

Entre los hongos que producen enfermedades de las plantas conviene mencionar el carbón o tizón del maíz y las royas. El primero debe su nombre a los restos que, a modo de tizones, deja en las plantas que ataca. Las royas se llaman así por el color herrumbroso que dejan sus esporas en los órganos de la planta huésped.

El conocimiento de su ciclo de desarrollo facilita la lucha contra estas plagas del campo.

Entre los hongos parásitos de los vegetales conviene mencionar la *Claviceps purpurea* o cornezuelo del centeno. Los esclerocios de esta planta parasitan el centeno y atacan sus espigas. A finales del verano, se forma sustituyendo al grano destruido un esclerocio (cornezuelo) (figura 110). El daño ocasionado por este hongo no se limita a la reducción de la cosecha: cuando la infección es muy grande y la selección de los granos deficientes, la presencia de cornezuelos en la harina puede causar una enfermedad dolorosa, que a veces llega a ser mortal (el ergotismo). El esclerocio de este hongo se usa en pequeñas dosis como medicamento en ginecología y obstetricia.

De los hongos que parasitan los animales merecen recordarse los agentes de la tiña tonsurante (diferentes especies de *Trichophyton*) y de la tiña (*Achorion*), enfermedades de la piel muy extendidas (fig. 111).

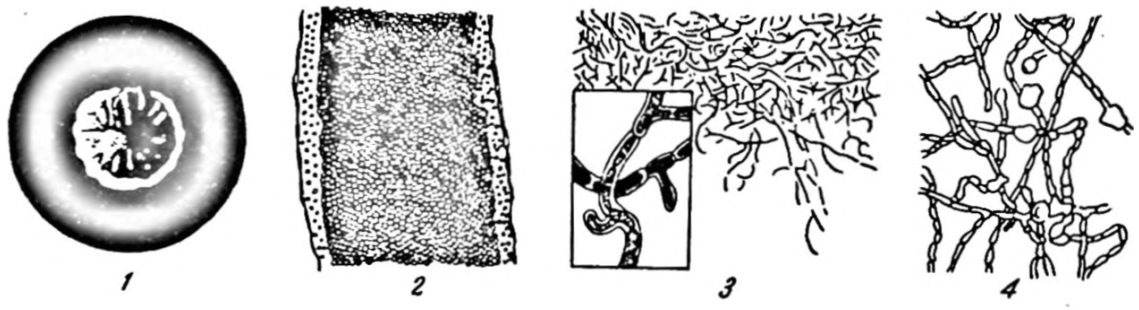


FIG. 111. *Trichophyton violaceum*, agente del sérpigo: 1, colonia; 2, pelo atacado; 3, 4, micelio y esporas.

También pueden originar diversas dermatosis ciertos hongos saprofitos, que al variar de condiciones pasan a parásitos. Los actinomicetos que viven en las gramíneas y en el suelo, diferentes mohos y también hongos de la familia de las levaduras pueden ser la causa de enfermedades.

Los actinomicetos, u hongos radiados, deben su nombre a la forma radiada de las acumulaciones que originan en el organismo animal, los llamados grumos (fig. 112). A veces, producen graves enfermedades en el hombre y los animales (actinomicosis), que no sólo aparecen bajo la forma de supuraciones superficiales, sino que frecuentemente afectan órganos internos.

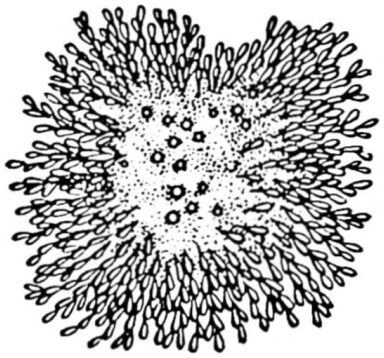


FIG. 112. Grumo purulento de un hongo radial.

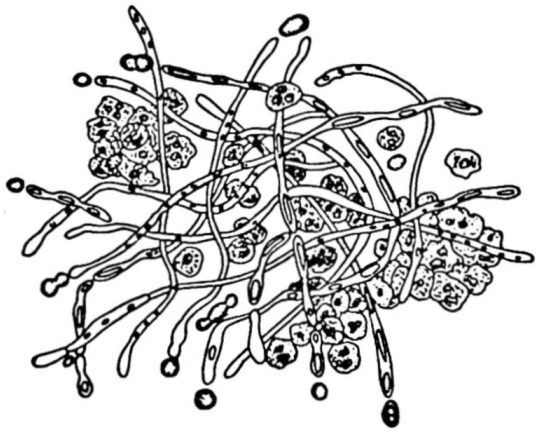


FIG. 113. Hongo del género *Oidium*.

Otros hongos causantes de fermentaciones (fig. 113) producen las aftas, enfermedades por lo general de los niños, y que, lo mismo que otras originadas por hongos, pueden extenderse también a los órganos internos, Lo dicho

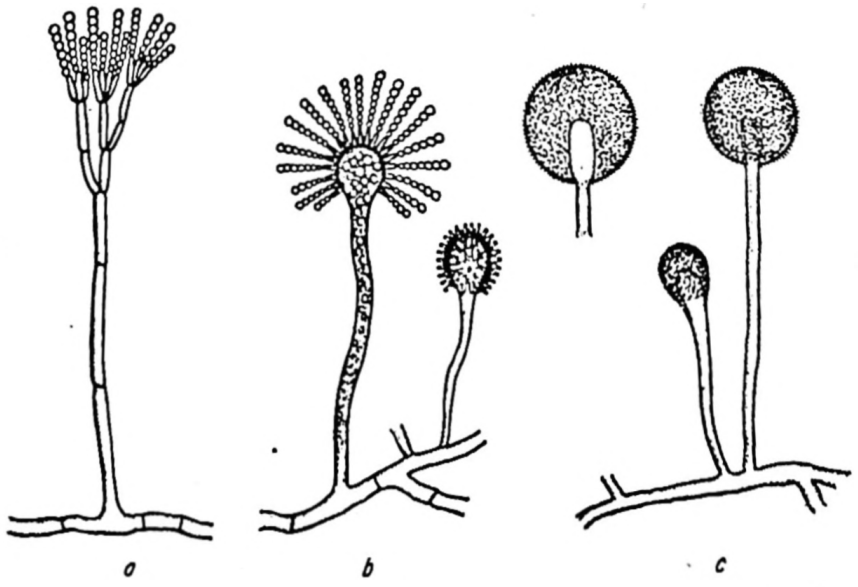


FIG. 114. Formación de esporas en distintos mohos: *a, Penicillium; b, Aspergillus*: *c, Mucor*.

se refiere igualmente a saprofitos tan extendidos como los mohos, el *Mucor*, el *Aspergillus* y el *Penicillium* (fig. 114), que pueden causar enfermedades, y no sólo de los tegumentos, sino también de los órganos internos, los pulmones, por ejemplo.

Importancia de los hongos. Muchos hongos superiores desempeñan un gran papel en nuestra vida por su valor alimenticio.

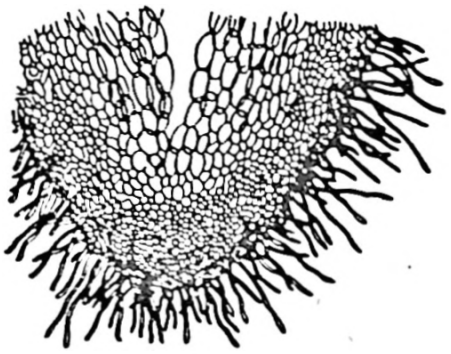


FIG. 115. Micorriza.

Tales son el *Boletus* comestible, el *Lactarius colemus*, el níscalo, que se recogen anualmente en grandes cantidades. Algunos hongos son venenosos: entre ellos se cuentan la falsa oronja, el hongo satánico, etc. Otros hongos atacan las construcciones de madera (hongo casero).

Muchos mohos (por ejemplo, los *Aspergillus*), en presencia de un medio azucarado producen ácido oxálico; cuando varían las condiciones, ácido cítrico y otros. Las levaduras encuentran gran aplicación en las industrias relacionadas con la obtención del alcohol y anhídrido carbónico, que son productos de su actividad vital.

Algunas especies de mucor (*Mucor racemosus, Mucor javanicus, Rhizopys oryzal*, etc.) se utilizan en Asia Oriental para la fabricación de bebidas alcohólicas y de pan.

El paso a condiciones anaerobias origina un cambio en el metabolismo, con la modificación consiguiente de los productos de la actividad vital (aparición de alcohol, desprendimiento de CO_2) y de la morfología: las hifas se disgregan en células aisladas y se reproducen por gemación. Muchos hongos fermentativos se utilizan, junto con las bacterias, en la producción de quesos

Han alcanzado gran aplicación terapéutica los antibióticos, entre los que figura la penicilina, que se extrae del *Penicillium*, la estreptomicina que se obtiene de los productos de la actividad vital de uno de los actinomicetos, etc.

Estas sustancias se utilizan para combatir muchos microbios patógenos.

Debido a la gran resistencia que ofrecen a la reacción ácida del medio, los hongos desempeñan en la vida del suelo forestal la misma misión de "destructores" de las sustancias orgánicas que las bacterias en los prados y las estepas. De ahí su papel —paralelo al de las bacterias— en la circulación de las sustancias en la Tierra.

El significado de los hongos terrícolas no se reduce a esto. También establecen una asociación íntima especial (simbiosis) con las raíces de las plantas superiores, árboles entre ellas, dando lugar a las llamadas micorrizas. Las micorrizas, hongos de la raíz, representan una estrecha unión de las hifas del hongo con las raicillas de la planta (fig. 115). El desarrollo de estos hongos se relaciona a menudo con especies de árboles determinadas. Por ejemplo, los hongos del abedul son específicos para esta clase de árboles, y diferentes de los que crecen en los bosques de pobos. Sin embargo, se conocen también otra clase de relaciones: el hongo de sombrero llamado falsa oronja, que está muy difundido, realiza la simbiosis con muchos árboles foliáceos y muchas coníferas. Semejante asociación del hongo con las raíces de los árboles posee gran importancia para la nutrición de éstos, lo que se tiene en cuenta al realizar las plantaciones forestales; cuando se siembran simientes arbóreas se infecta el suelo con una determinada clase de hongo, sin el cual los árboles, a pesar de su simbiosis con otros hongos del suelo, se desarrollan peor.

Respecto al problema de la *filogenia* de los hongos, la mayoría de los investigadores opinan que proceden bien de las algas verdes, bien de otros antecesores flagelados comunes.

Los hongos parásitos aparecieron mucho después que los saprofitos. Los hongos y las algas son dos ramas del desarrollo de los vegetales inferiores, con la particularidad de que los hongos son las únicas plantas inferiores que de acuáticas han pasado a terrestres. Los hongos se relacionan con las algas a través de sus representantes acuáticos inferiores, que se reproducen por zoosporas.

TIPO LIQUENES (LICHENES)

Los líquenes son un ejemplo clásico de simbiosis de hongos con algas.

Los hongos de los líquenes pertenecen al grupo de hongos superiores, y las algas a las clorofíceas y cianofíceas. Con frecuencia se encuentra entre los líquenes el alga azul *Nostoc* (fig. 116).

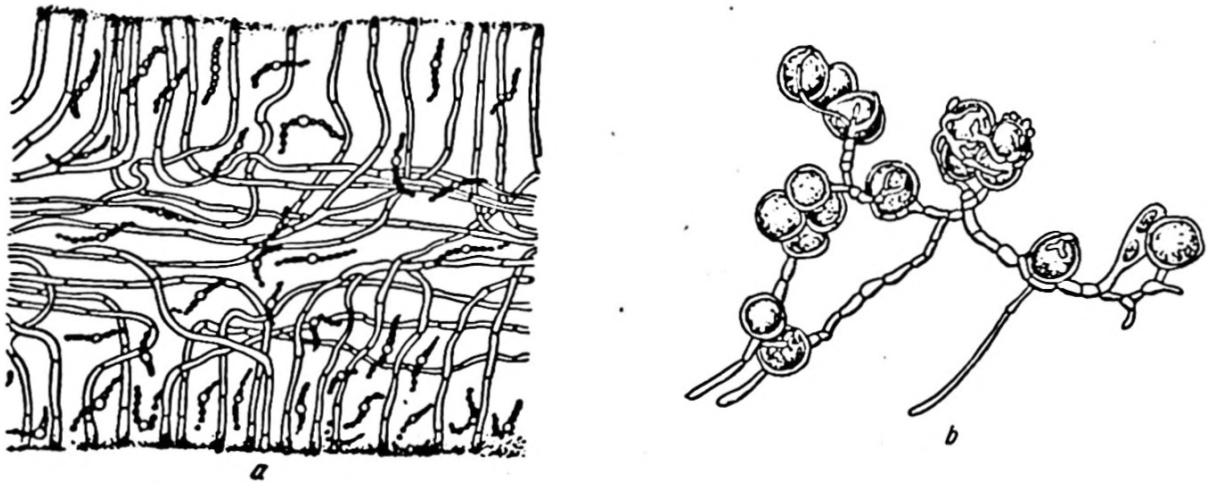


FIG. 116. Estructura microscópica de los líquenes: *a*, las hifas del hongo rodean los filamentos de un alga nostoc; *b*, hifas de un hongo envolviendo algas unicelulares.

Los trabajos de los botánicos rusos Famintsin y Baranetski han contribuido en alto grado a aclarar la doble naturaleza de los líquenes.

Los líquenes son muy poco exigentes y se desarrollan en piedras y rocas donde no pueden vivir otras plantas.

El científico soviético P. A. Guénkel ha encontrado en todos los líquenes un fijador del nitrógeno de la atmósfera, el nitrobacter, gracias al cual los líquenes no tienen necesidad de otras fuentes nitrogenadas.

Gracias a sus pocas exigencias en cuanto a las condiciones de vida, los líquenes se han adentrado profundamente en las regiones septentrionales y han trepado por las montañas hasta gran altura, constituyendo la parte principal de la vegetación de la tundra y también el alimento fundamental, durante el invierno, de los renos (musgo de los renos). Algunas especies de líquenes son comestibles, entre ellos el llamado líquen del maná (*Lecanora esculenta*), que vive en las estepas y los terrenos semidesérticos.

Los líquenes también se utilizan en perfumería y en la fabricación de tintes, siendo muy conocidos la orcina y tornasol. De algunas especies de líquenes puede extraerse alcohol y glucosa. Otros, por ejemplo, el liquen de Islandia (*Cetraria Islandica*) se emplea a veces para cocimientos medicinales y gelatinas. Ultimamente se ha descubierto en los líquenes la presencia de antibióticos que actúan vigorosamente sobre los microorganismos.

En esta zona se pueden distinguir los grupos histológicos siguientes: el *estrato epidérmico,* el *cortical* y el *cilíndrico* o *tejido conductor.* A diferencia de la epidermis del tallo y de la hoja y también de la parte más vieja de la raíz, la epidermis de la zona absorbente la constituyen células con una membrana de celulosa muy delgada y fina, permeable al agua y a las soluciones salinas. Las celulitas de la rizodermis (epidermis de la raíz) dan lugar a unas prolongaciones (figura 118), que se van alargando poco a poco hasta alcanzar una longitud que oscila entre 0,15 mm. y 1 cm. Esos son precisamente los pelos radicales, que al adherirse a las partículas térreas aumentan la superficie de absorción de la raíz en 5, 6 y a veces incluso 20 veces. A medida que crece el ápice de la raíz aparecen más pelos, al mismo tiempo que van muriendo los que se encuentran en las partes superiores de la zona de absorción.

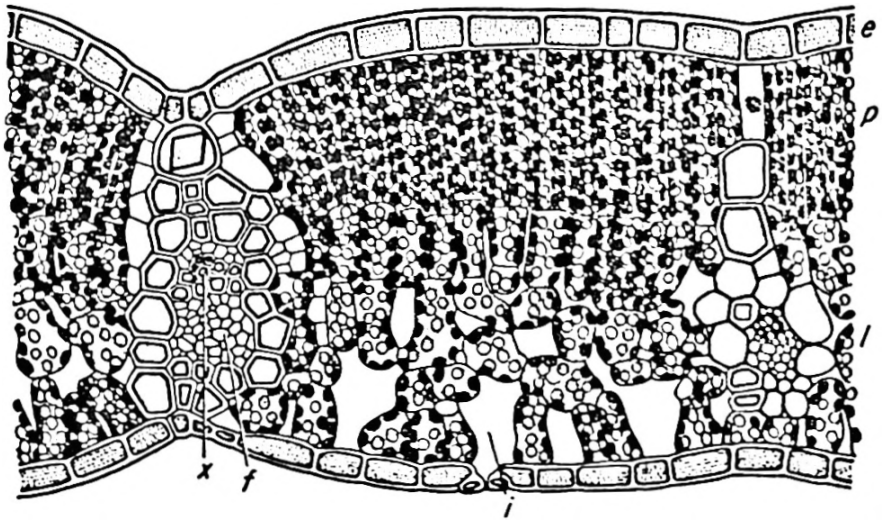


FIG. 119. Sección transversal de una hoja de haya: *e*, epidermis con la cutícula; *p*, parénquima en empalizada; *l*, parénquima lagunoso con cloroplastos; *i*, espacio intercelular lleno de aire, situado sobre el estoma; *x*, xilema; *f*, floema de un haz vascular (nerviaciones).

Por tanto, según crece el ápice, su zona nutritiva, que tiene una gran superficie de contacto con la tierra que la rodea, penetra más y más en ella, poniéndose en relación con nuevas partículas.

Debajo del tejido epidérmico se encuentra el parénquima cortical, que constituye la parte principal de esta zona de la raíz.

Sus células son isodiamétricas y están unidas entre sí débilmente.

Durante el verano, en las células del parénquima cortical se acumulan los productos de la actividad vital, almidón, azúcar y otras sustancias, que utilizarán en la primavera siguiente otros tejidos de la planta. En algunas plantas bianuales cultivadas, por ejemplo, en la zanahoria y la remolacha, se acumula, sobre todo, gran cantidad de azúcar. El parénquima cortical de estas plantas se desarrolla extraordinariamente.

La parte central de la raíz está ocupada por el tejido conductor, que aparece al comienzo de la zona de absorción y se prolonga a lo largo de

toda la planta. Este tejido tiene gran importancia, ya que incorpora al metabolismo todos los órganos del vegetal. En el tejido conductor, que constituye la gran masa del cilindro central de la raíz, podemos ver diferentes elementos anatómicos, que forman dos grupos fáciles de distinguir: el *leño* y el *líber*. Los elementos principales del líber y del leño se caracterizan por su forma alargada, tubular. El leño lo constituyen tubos de mayor diámetro. En la sección transversal de la raíz puede verse la distribución de estos tejidos. En su parte vieja, donde ya no hay pelos, el tejido cortical se hace más grueso, formando en las raíces plurianuales una corteza semejante a la del tallo (tronco). Sus capas superficiales se hacen suberosas.

La raíz, que es un importante órgano nutritivo de todo el vegetal, extrae del suelo selectivamente sustancias inorgánicas de acuerdo con la naturaleza de la planta. La hoja es también un órgano nutritivo. En ella se realiza principalmente el proceso de fotosíntesis. Además, las hojas desempeñan un importante papel como órgano de transpiración del agua, pues constituyen en la mayoría de las plantas la gran superficie de evaporación: 1 cm^2 de superficie foliar evapora durante el día de 15 a 250 gr. de agua por hora. Por tanto, en la hoja se realiza un complicado intercambio gaseoso en el medio.

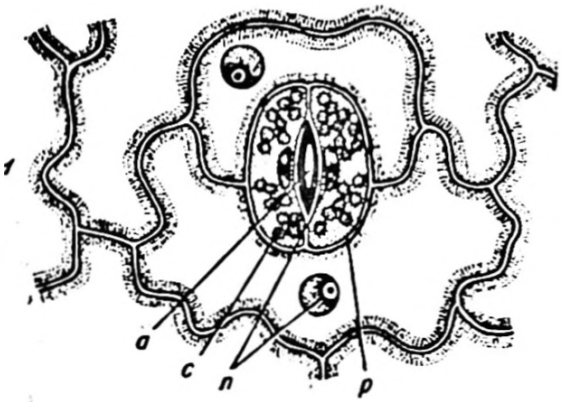


FIG. 120. Estructura de un estoma.

En la hoja hay que distinguir el *limbo foliar* y el *peciolo*, que a veces falta.

La forma laminar de la hoja aumenta su superficie de contacto con el aire, capta la energía radiante (luminosa) y recoge la sustancia nutritiva fundamental, el CO_2. En los árboles grandes, la superficie total de las hojas es extraordinaria.

En toda hoja típica hay los tres mismos tejidos que en la raíz: el epidérmico, el parénquima y el conductor (fig. 119). Sin embargo, sus actividades son diferentes, y por eso la estructura de las hojas presenta grandes diferencias con la de los tejidos de la raíz.

El tejido superficial o epidermis consta generalmente de una capa de células de forma regular, transparentes, muy juntas y que cubren totalmente la hoja. Las membranas de estas células no tienen igual espesor. Las exteriores son más gruesas, estando sus capas superficiales cutinizadas. Las células de la epidermis segregan hacia la superficie una película, la cutícula, que cubre toda la hoja.

La cutícula es casi impermeable a los gases y el agua. Ahora bien, en la epidermis de la hoja se forman orificios, limitados por células especiales, que comunican con los tejidos interiores. Estas formaciones (fig. 120) se llaman *estomas* y están constituidas por dos células reniformes, que dejan entre sí un ojal alargado llamado abertura del estoma u ostíolo. Las células que constituyen el estoma se llaman *terminales*. Se diferencian de las demás células de la epidermis no sólo por su forma renal, sino por la presencia en ellas de cloroplastos. Las otras células epidérmicas son incoloras y no contienen cloroplastos. Las células estomáticas pueden variar de forma, es-

trechando el ostíolo (a veces hasta cerrarlo completamente) o abriéndolo, con lo que disminuye o aumenta la transpiración, según las condiciones del medio: grado de sequedad, temperatura del aire, grado de insolación, etcétera.

La mayoría de las plantas terrestres tienen distribuídos los estomas entre las células de la epidermis que cubre la superficie inferior de la hoja (envés). En las plantas acuáticas con hojas flotantes, se hallan sólo en la parte superior (haz).

La cantidad de estas formaciones microscópicas es muy grande (de 100 a 300 por 1 mm^2, e incluso muchas más). Por tanto, la superficie total de orificios estomáticos, a través de los cuales se realiza el intercambio gaseoso, es enorme, a pesar de la capa aislante que constituye la cutícula.

La gran masa de la hoja está constituida por el *parénquima* o parte carnosa de la hoja (mesofilo).

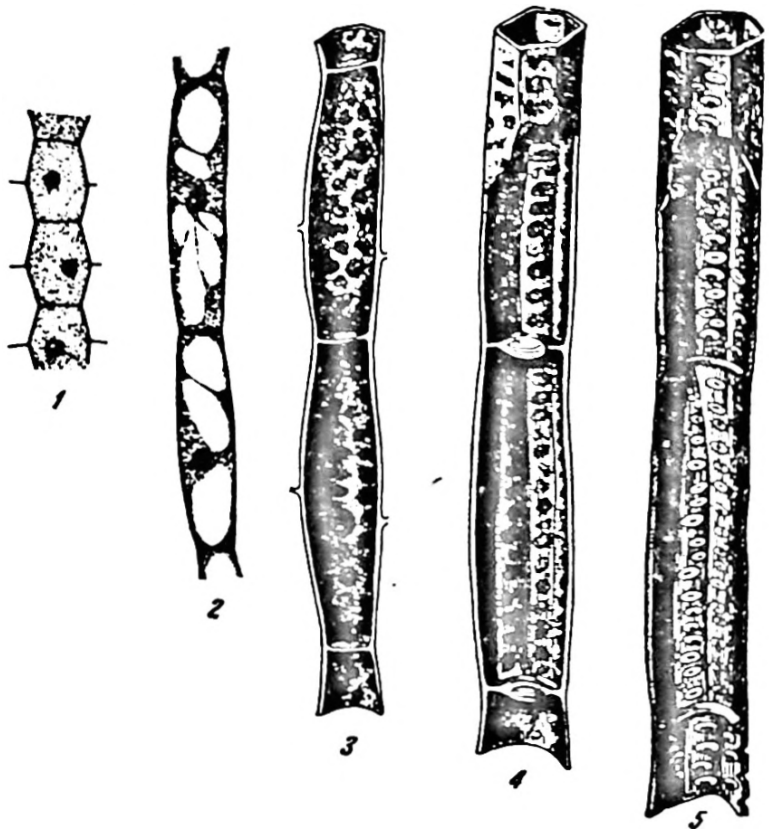


FIG. 121. 1-5, fases consecutivas del desarrollo de un vaso leñoso a partir de células no diferenciadas de tejido meristemático.

Lo característico del parénquima de la hoja es la presencia en sus células de cloroplastos, que desempeñan un importante papel en la fotosíntesis. En él se puede distinguir un parénquima *en empalizada* o *muriforme*, que se encuentra debajo de la epidermis superior, y, más abajo, el parénquima *lagunoso*.

El parénquima muriforme o en empalizada está constituido por células alargadas, muy juntas, perpendiculares a la superficie de la hoja; el número de los estratos en empalizada oscila entre uno y tres. Contienen gran canti-

dad de cloroplastos En este tejido, que recibe directamente la luz, tiene lugar una fotosíntesis intensiva.

Las células del tejido lagunoso, menos compactas, están separadas por espacios intercelulares llenos de aire, que a veces alcanzan grandes dimensiones (de ahí su nombre).

El tejido conductor de la hoja forma un sistema de "venas" o "nervios" dispuestos irregularmente. Los de mayor tamaño están constituidos por haces de elementos tubulares de leño y líber. A medida que se ramifican las nerviaciones, disminuye la cantidad de vasos conductores en cada uno de ellos.

El tallo (tronco en los árboles) es el órgano que soporta las hojas y que se une por uno de sus extremos con la raíz. A través del tallo se relaciona ésta con las hojas.

Lo fundamental del tallo es el tejido conductor, continuación del de la raíz, y que llega a las hojas, donde da lugar a una red de finas nerviaciones.

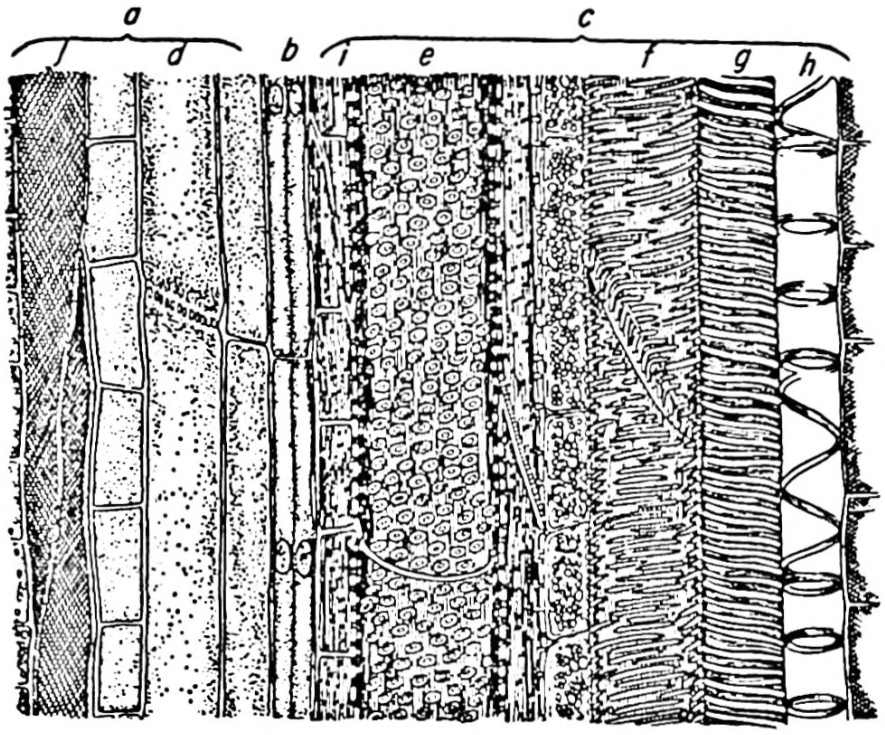


FIG. 122. Sección longitudinal de un haz vascular: *a*, floema; *b*, cámbium; *c*, xilema; *d*, vaso criboso; *e*, *f*, *g*, *h*, vasos leñosos; *i*, *j*, fibras.

En el tallo, el tejido conductor está distribuido en grupos aislados, llamados haces fibrovasculares. En estos haces hay conductos más o menos largos: los vasos leñosos (xilema) y los vasos cribosos de líber (floema); también existen haces de fibras (elementos mecánicos); de ahí el nombre de *haces fibrovasculares*.

Los vasos leñosos o traqueidas son un elemento característico del leño; forman tubos, que alcanzan a veces muchos centímetros de longitud.

Estos tubos se originan a partir de una serie de células alargadas superpuestas; en el proceso de su desarrollo, estas células pierden el protoplasma, desaparecen las membranas divisorias (fig. 121), sus paredes se hacen más gruesas y se lignifican (se impregnan de una sustancia especial, la lignina).

El grosor de las paredes no es igual, sino que presenta relieves en forma de espirales, anillos, etc. (por lo que los vasos toman el nombre de espirales, anulares, etc.).

Además de los elementos enumerados, integran el leño otros, de los que mencionaremos las llamadas fibras, que también disponen de membranas leñosas espesas. Son elementos mecánicos, que se forman en el proceso de desarrollo del tallo y lo hacen menos flexible y más estable que el tallo joven. Los vasos, los elementos mecánicos y el parénquima intermedio constituyen el xilema del haz fibrovascular. A lo largo de los vasos del xilema suben desde la raíz a lo alto del vegetal el agua y las sales en ella disueltas.

La parte liberiana del haz se caracteriza por los *vasos cribosos*. Los constituyen también células colocadas unas encima de otras, pero que conservan su protoplasma, a pesar de que sus núcleos se reabsorben; las membranas divisorias permanecen, pero se perforan; de ahí el nombre de vasos cribosos.

Se diferencian de los vasos leñosos por otra serie de rasgos: su diámetro es menor, las paredes son de celulosa y conservan la elasticidad.

La parte liberiana del haz la integran aún otros elementos, entre ellos fibras liberianas con paredes celulósicas (fig. 122).

Estas fibras dan resistencia a esta parte del sistema conductor, aunque, al mismo tiempo, conservan su flexibilidad. En algunas plantas (el lino, el cáñamo, el tilo y otras) están sumamente desarrolladas, por lo que se pueden emplear en diferentes industrias, entre ellas en la textil. Los vasos cribosos constituyen, junto con las fibras y el parénquima que los rodea, el floema de los haces. A lo largo de los vasos cribosos se trasladan los productos alimenticios orgánicos. Los vasos cribovasculares se encuentran en el seno del parénquima central del tallo. Las células de este parénquima, tejido que constituye lo mismo que en otros órganos la masa principal del tallo, son isodiamétricas.

El tallo, igual que la raíz, crece en longitud durante toda la vida de la planta, también por su extremo. En su parte superior y en las axilas de las hojas se encuentran las yemas, en las que se pueden distinguir el ápice vegetativo del tallo y los rudimentos foliares (fig. 123) en forma de protuberancias. La hoja joven que sale de la yema crece intensamente, pero, a diferencia de la raíz y el tallo, el crecimiento mayor tiene lugar en su base; la parte superior de la hoja es la más vieja.

Lo mismo que el ápice de la raíz, el del tallo y las ramificaciones de éste están formados por un tejido embrionario meristemático. De las yemas axilares salen en primavera nuevas ramas con sus hojitas; son los brotes.

En los países de clima templado y frío, al llegar el invierno cesa la actividad de los vegetales. El cuerpo de las plantas anuales muere totalmente, dejando sólo semillas vivas que pasan a un estado de "letargo", en el que no se revela morfológicamente su actividad vital.

Las hojas de las plantas plurianuales, que constituyen en verano la gran masa viva del árbol, mueren en invierno y caen. En las plan-

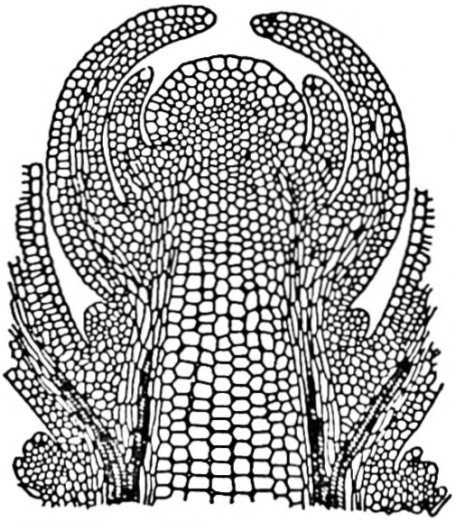


FIG. 123. Sección longitudinal esquemática del ápice de un tallo de verónica.

tas de hoja perenne —las coníferas y las tropicales y subtropicales— las hojas viven dos y tres años. Durante el invierno permanecen en el árbol los ápices nuevos de los tallos y de las raíces. Estos últimos están profundamente enterrados y protegidos de las heladas invernales. Las yemas apicales y axilares pasan el invierno cubiertas por unas escamas resistentes, las pérulas, que son hojitas transformadas. En primavera, en cuanto empieza a calentar el sol y el suelo empapado de la humedad primaveral da comienzo a su vida invisible, renace también la actividad de las plantas.

Hemos estudiado en este capitulo los rasgos comunes en la organización de las plantas superiores, es decir, de todos los vegetales que poseen tallo y hojas.

Los diferentes grupos taxonómicos de estas plantas se diferencian entre sí por sus rasgos morfológicos y también por el carácter de su metabolismo. Las diferencias en éste se reflejan también en los productos de la actividad vital que acumulan, muchos de los cuales tienen gran importancia terapéutica.

Las plantas medicinales se encuentran entre los grupos taxonómicos más diversos; abundan, sobre todo, entre las espermofitas.

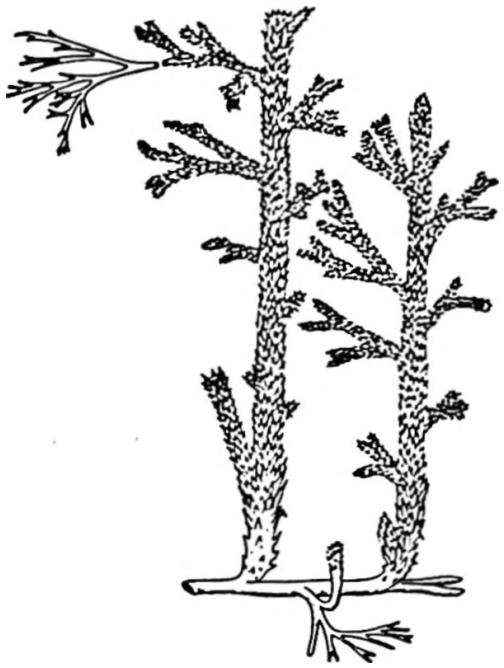


FIG. 124. Psilofitíneas.

Las plantas medicinales son aquellas que producen sustancias que actúan de un modo específico en el organismo del hombre y de los animales enfermos. Estas plantas contienen diferentes alcaloides, glucósidos, sustancias aromáticas, etc., productos con frecuencia venenosos para el hombre y para muchos animales, pero que en dosis pequeñas se utilizan como medicamento. Los acumulan las plantas en diferentes órganos: en las raíces, tallos subterráneos o rizomas, y también en los órganos superficiales, tallos, hojas, flores, frutos y semillas.

APARICION DE LA VEGETACION TERRESTRE

Los restos fósiles de los precursores de las cormofitas, primeras plantas terrestres, son conocidos por los sedimentos de la era primaria (paleozoica).

La aparición de estas plantas se relaciona con los procesos de formación de montañas y con los importantes cambios climatológicos en extensas superficies de la tierra, debido al comienzo de períodos de sequía. El desecamiento periódico de los depósitos continentales de agua (ríos, lagos, pantanos) y también el retroceso del mar dieron origen a una vegetación capaz de adaptarse a la vida fuera del agua. Los primeros vegetales terrestres fueron plantas pertenecientes a la clase de las psilofitíneas, desaparecidas hace mucho tiempo; algunas de ellas eran de reducido tamaño (de 15 cm a 50 cm), sin hojas (*Rhynia*). La parte epigea se asemejaba a un tallo ahor-

quillado, con ramificaciones (fig. 124). El cuerpo, que se mantenía vertical, se sujetaba al suelo por medio de un aparato subterráneo de tipo rizoma, provisto de rizoides delgados, ya que carecían de raíces. Su cuerpo verde, no ramificado, se parecía al talo de las algas, de las que descendían.

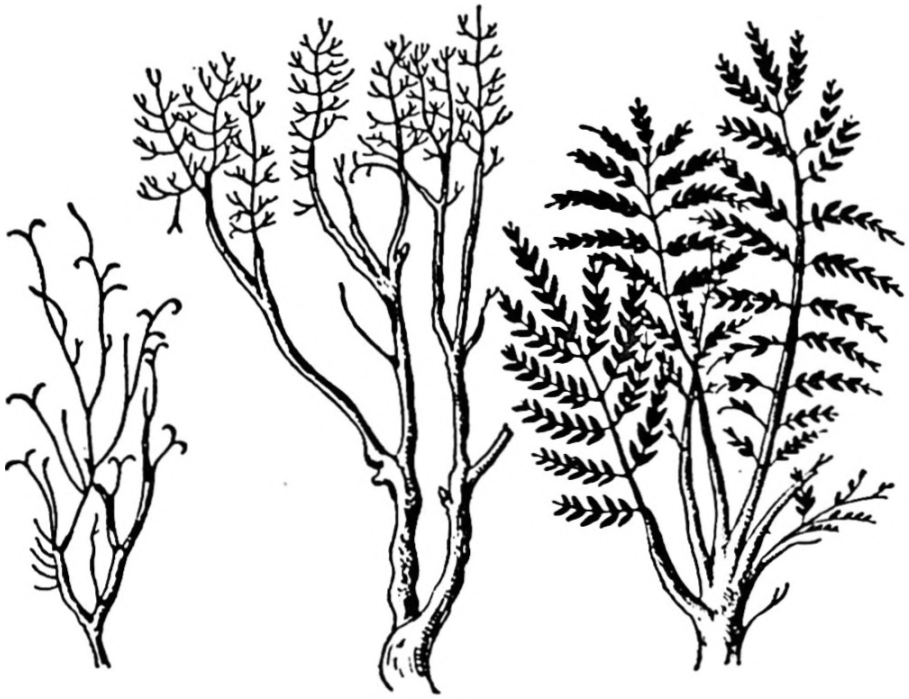


FIG. 125. Formas de transición de las psilofitíneas a las pteridofitas.

A juzgar por el emplazamiento de muchas psilofitíneas, habitaban depósitos de agua que se secaban periódicamente; por lo tanto, podían vivir en el agua y fuera de ella, y así presentan ya *indicios de un sistema vascular*. En una serie de formas de transición aparecen poco a poco *hojas de desarrollo*. Algunas tienen incluso estomas, dispositivos para realizar con el aire el intecambio gaseoso. Las psilofitíneas son las primeras plantas terrestres. Algunas de ellas recuerdan por su aspecto las algas, otras son elementos de transición hacia distintas ramas de pteridofitas: licopodios, helechos y equisetáceas (fig. 125).

A las cormofitas de la flora actual pertenecen las muscíneas, las pteridofitas y las espermofitas. De todas, las de constitución más simple son las muscíneas.

TIPO BRIOFITAS O MUSCINEAS (BRYOPHYTA)

Pertenecen a este tipo plantas poco exigentes, de pequeño tamaño (desde algunos milímetros hasta varios centímetros, que llegan a alcanzar rara vez —en los trópicos— 0,5 m. de altura); crecen a menudo de modo semejante al césped. En su desarrollo las muscíneas están muy vinculadas al medio acuático.

Las briofitas se distribuyen en dos clases: las hepáticas y los musgos.

Las primeras son por lo regular plantas taliformes de talo aplanado (fig. 126); los musgos tienen el talo diferenciado en tallo y hojas (fig. 127).

Estas plantas carecen de raíces y se adhieren a la tierra por medio de rizoides filiformes muy ramificados, constituidos la mayoría de las veces por una hilera de células. Entre ambas clases hay una serie de formas de transición, que presentan en el talo hojas embrionarias.

Los musgos y las hepáticas constituyen por su morfología y por el modo de reproducirse un grupo natural de organismos afines.

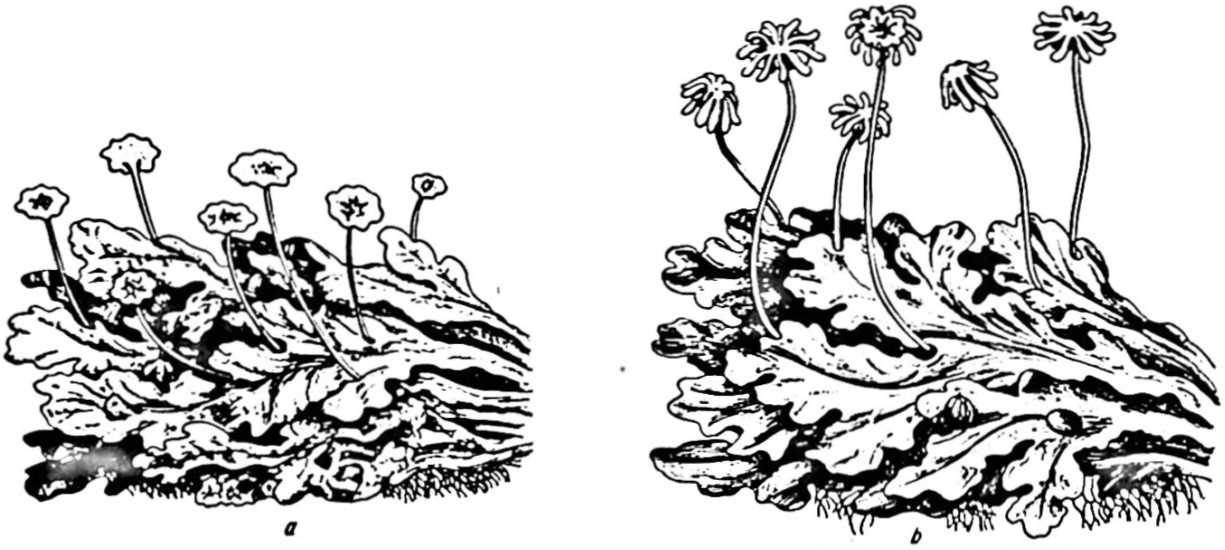


FIG. 126. *Marchantia polimorpha*: *a*, gametofito masculino; *b*, gametofito femenino.

La estructura del tallo y de las hojas del musgo es aún bastante primitiva. Frecuentemente, las hojas están constituidas por un capa de células y no siempre poseen haces de tejido conductor. Sin embargo, se trata, a pesar de todo, de órganos laminares, que contienen en sus células cloroplastos y que corresponden a la forma típica de las plantas superiores. El tallito que sostiene estas hojas es también verde, con cloroplastos y un sistema conductor primitivo, en forma de células alargadas. El desarrollo del musgo finaliza ya en primavera. En su parte superior aparecen entonces los órganos sexuales masculinos y femeninos; en algunos de ellos (por ejemplo, en el *Polytrichum commune*, perteneciente a los musgos verdaderos, y en la *Marchantia* o empeine, dentro de las hepáticas) se encuentran en distintos individuos (plantas dioicas); en cambio, otros musgos tienen los órganos sexuales en un mismo pie (plantas monoicas).

Los órganos reproductores masculinos o *anteridios*, que tienen forma de saco, producen gran cantidad de células sexuales masculinas; son anterozoides dotados de cilios, organoides que les sirven para moverse en el agua.

Los órganos sexuales femeninos o *arquegonios* son de forma de botella y constan de dos partes, vientre y cuello. En la parte más ancha del vientre se encuentra un óvulo. Esta fase de la planta, que produce gametos, se llama gametofito.

Cuando llueve o se forma rocío, los anterozoides salen de los anteridios abiertos, y junto con las gotas pueden pasar al tallo vecino (hecho importante en el desarrollo de los musgos dioicos). Puesto en la vecindad de un arquegonio, el anterozoide se aproxima a él, penetra por el cuello hasta el óvulo y allí tiene lugar la fecundación.

El zigoto resultante produce al crecer una nueva planta. Lo específico

de los musgos en su desarrollo es que el nuevo organismo que sale del zigoto no se separa en las primeras fases de su vida del organismo materno, y permanece relacionado con él durante el proceso nutritivo. En una etapa determinada de desarrollo, esta nueva plántula produce esporas, recibiendo entonces el nombre de esporofito.

El rasgo morfológico característico del esporofito es su forma de largo pedúnculo provisto en la parte superior de una cápsula con esporas (el esporangio); en el proceso de su desarrollo, el esporofito pierde el color verde. Después de haber madurado las esporas, la cápsula se abre, aprovechando el tiempo seco, y las esporas, que se diseminan, son arrastradas por el viento. Con ayuda de estas esporas se realiza la reproducción asexual.

Cuando encuentran condiciones favorables, siendo una de las más importantes suficiente humedad, las esporas crecen. La plántula tiene la apariencia de un filamento verde, que frecuentemente se ramifica y recuerda el filamento de las algas (formas precursoras). En este filamento verde (protonema) se desarrolla el tallito antes descrito, el *gametofito*, que es la planta verde del musgo y corresponde al grado superior de desarrollo del vegetal. El desarrollo termina, como ya se ha dicho, con la aparición de los gametos. En las hepáticas, el proceso es semejante, con la única diferencia que su gametofito es una planta laminar.

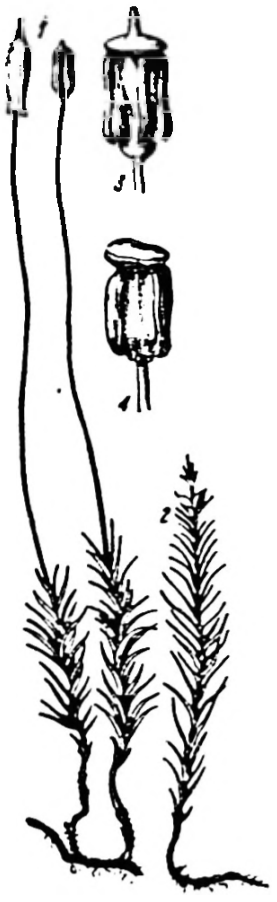


Fig. 127. *Polytrichum commune*: 1, esporofito formado sobre el gametofito 2, gametofito; 3, 4, cápsulas con esporas (esporangios).

La figura 126 representa un pie o individuo femenino y otro masculino del gametofito de la hepática de las fuentes o empeine, uno de los representantes de las hepáticas. Sus arquegonios y anteridios están situados en diferentes pies.

Los gametofitos de los musgos con hojas, son plantas que poseen hojas y tallo. Sin embargo, carecen de raíz, y pueden desarrollarse únicamente en condiciones de gran humedad. Por lo tanto, los musgos están aún muy vinculados al agua, el medio que habitan primero.

Esta dependencia es característica también de su modo de reproducirse: es imposible la fecundación sin la presencia de agua. Solamente el esporofito, que se eleva en su pie por encima del sustrato húmedo, se puede adaptar al medio aéreo: las esporas, que son formaciones típicas de las plantas terrestres, son arrastradas fácilmente por el viento. Secas, pueden soportar durante largo tiempo condiciones desfavorables, pero crecen únicamente en un ambiente húmedo, apareciendo el gametofito, cuyo desarrollo está unido al medio acuático. Las diferentes fases de desarrollo exigen condiciones ambientales distintas.

Las pocas exigencias que presentan los musgos de la flora actual hace que estén muy extendidos en el mundo. Constituyen, junto con los líquenes, los escasos habitantes de la tundra, y es posible encontrarlos también en las elevadas cimas, aunque siempre necesitan de un medio húmedo. Entre los musgos hay también formas acuáticas.

Los musgos, especialmente los que viven en los pantanos, forman parte de la turba, combustible que tiene gran importancia económica.

TIPO PTERIDOFITAS (PTERIDOPHYTA)

Las pteridofitas aparecieron después de las psilofitíneas, lo que confirma la supuesta relación de sucesión existente entre ambos grupos.

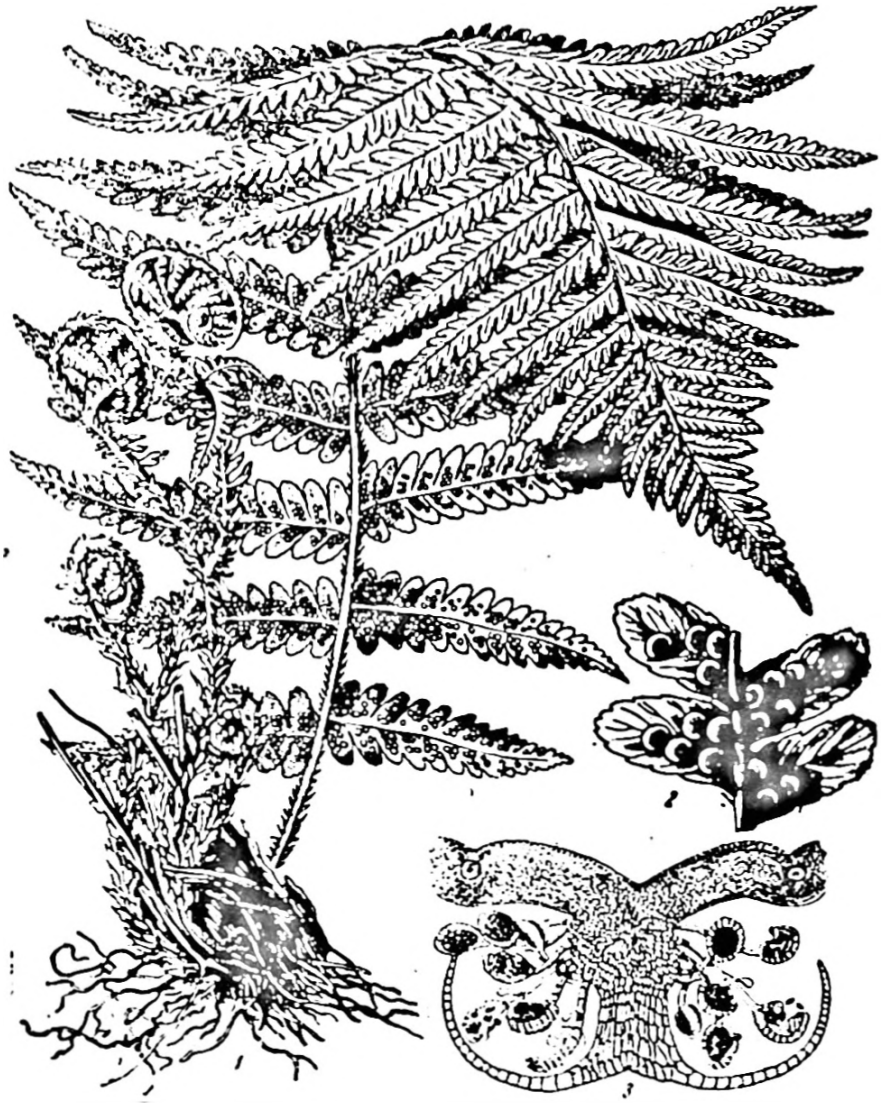


FIG. 128. Esporofito del helecho *Aspidium filix mas*: 1, aspecto general; 2, segmento foliar con soros; 3, sección transversal de un soro con varios esporangios cubiertos por el indusio (aumentado).

El clima húmedo y templado de la segunda mitad de la era primaria (paleozoica) favoreció el extraordinario desarrollo de las pteridofitas, que alcanzaron enormes dimensiones (de 20 a 30 m. de altura y con un diámetro del tronco que llegaba a 2 m.) y variedad mucho mayor que en los representantes de la flora actual. Estaban muy extendidas en el mundo, agrupadas en enormes bosques a lo largo de los pantanos y las húmedas orillas de los ríos.

Ya a finales del Paleozoico, las pteridofitas comienzan a desaparecer poco a poco o a disminuír de tamaño, dejando el lugar a otras plantas, las gimnospermas, que aparecieron en el proceso de evolución histórica de los grupos anteriores (pteridofitas). La mayoría de las pteridofitas actuales son herbáceas de pequeñas dimensiones.

Unicamente en los trópicos crecen aún algunas arborescentes, que alcanzan a veces gran altura. Entre las pteridofitas, la primera fase asexual de desarrollo, el *esporofito*, es una plánta muy diferenciada que consta de raíz, tallo y hojas. La hoja, órgano de la fotosíntesis, es al mismo tiempo donde se forman las esporas.

La fase definitiva de desarrollo, el gametofito, es en todas las pteridofitas una plántula laminar, de pequeñas dimensiones; se forma a partir de las esporas desprendidas del cuerpo del esporofito y continúa el desarrollo de este último.

Los diferentes grupos de pteridofitas tienen ciclos vitales diferentes.

Helechos. El esporofito del helecho se caracteriza por sus hojas muy grandes, llamadas frondes, de limbo frecuentemente pinnadohendido. El tallo de los helechos que actualmente crecen en los países templados es, en su mayor parte, un rizoma subterráneo corto del que salen las frondes, que al comienzo de su desarrollo tienen una prefoliación que les hace asemejarse a un caracol (fig. 128). Del rizoma salen, hacia la parte inferior, gran cantidad de verdaderas raicillas. Por lo tanto, el esporofito de los helechos lo componen los tres órganos que son característicos de las plantas superiores.

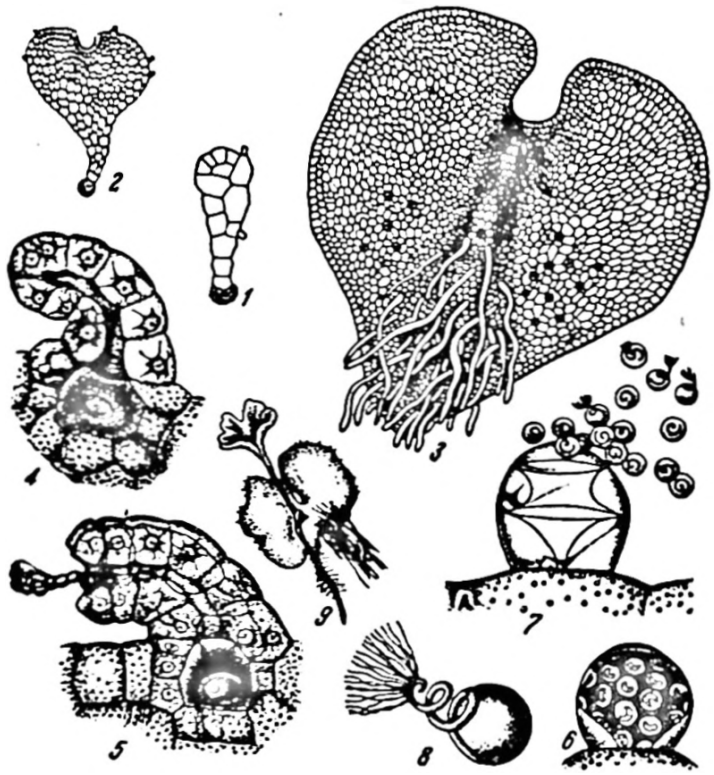


FIG. 129. Gametofito del *Aspidium filix mas*: 1, 2, desarrollo del gametofito a partir de las esporas; 3, gametofito adulto (protalo); 4, 5, arqueogonios; 6, 7, anteridios; 8, anterozoide o espermatozoide; 9, desarrollo del esporofito después de la fecundación.

Debido a esta diferenciación, la estructura anatómica es más compleja: los helechos poseen ya, lo mismo que el resto de las pteridofitas, un *tejido conductor diferenciado* que consta de los dos elementos característicos, el *xilema* y el *floema*.

En las hojas de los helechos se forman esporangios con esporas. Los esporangios se hallan agrupados en la parte inferior de la hoja. En el helecho macho (*Aspidium filix mas*) estos grupos de esporangios están cubiertos a modo de tapa con el llamado indusio, constituyendo los *soros* (fig. 128).

Cuando el tiempo es seco se abren los esporangios ya maduros, dejando caer las esporas, que, en circunstancias favorables, comienzan a germinar. De las

esporas sale una laminita; el *protalo* o *rudimento* de la nueva planta, que en la mayoría de los helechos es verde y cordiforme. La mayor parte de esta laminita consta de una capa de células, y se adhiere al suelo mediante rizoides. En su parte inferior se desarrollan los órganos sexuales, arqueogonios y anteridios (fig. 129). Por tanto, la fase rudimentaria del helecho corresponde a la fase final de desarrollo, el gametofito.

En los arqueogonios, que en líneas generales son semejantes a los de los musgos, se desarrolla un solo óvulo; en cada anteridio hay gran cantidad de anterozoides ciliados, de forma característica (fig. 129).

La fecundación se realiza únicamente si hay agua; los anterozoides se aproximan, nadando en ella con ayuda de los flagelos, al óvulo, fecundándolo. El zigoto, al desarrollarse, origina la nueva generación del helecho, su fase inicial de desarrollo o esporofito.

El helecho *Aspidium filix mas* es una importante planta medicinal; el extracto de sus rizomas se utiliza para combatir la invasión de platelmintos (tenias).

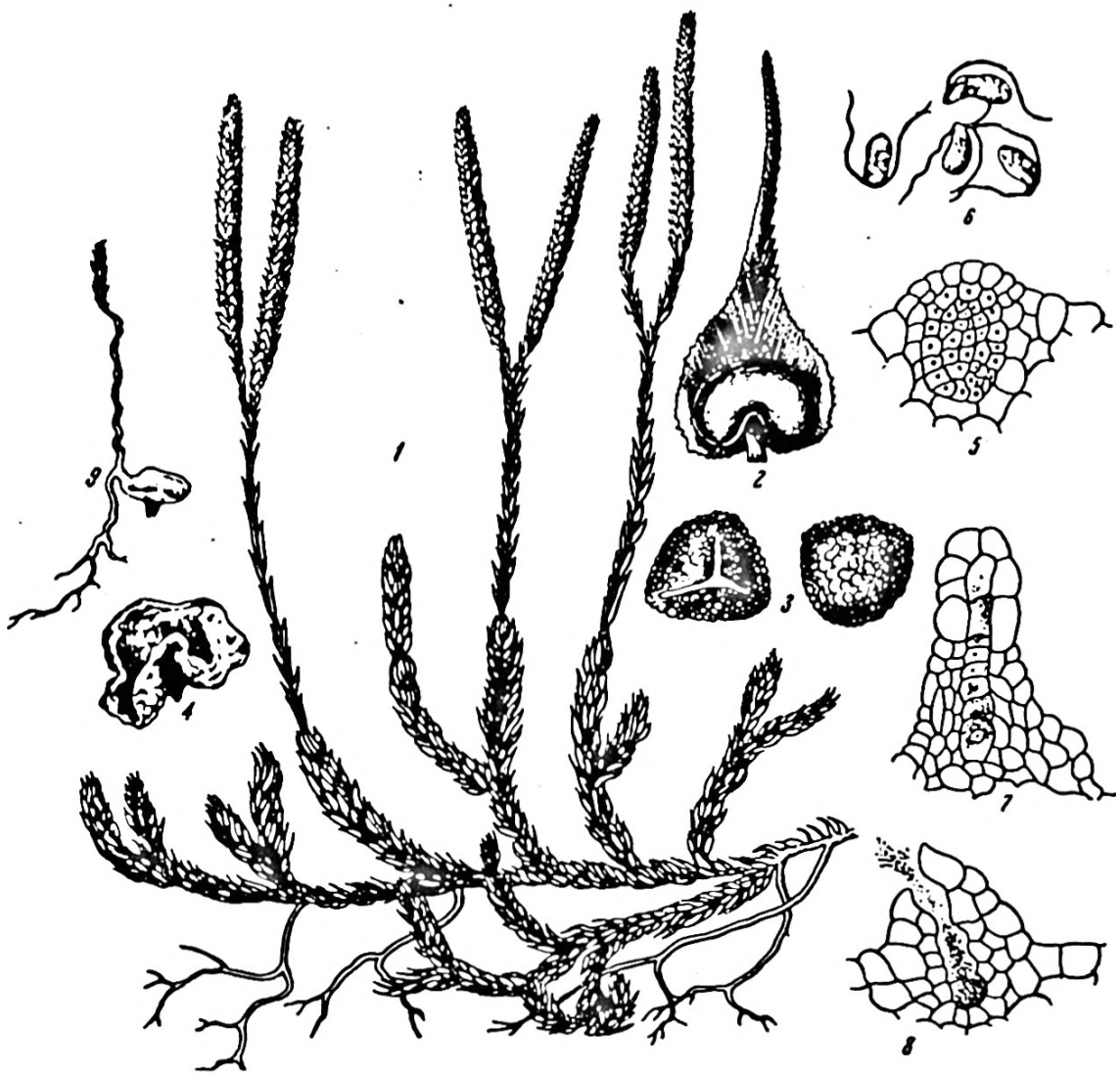


FIG. 130. Lipocodio común (*Lypocodium clavatum*): 1, esporofito; 2, esporofila con un esporangio; 3, esporas; 4, gametofito; 5, anteridio; 6, anterozoides o espermatozoides; 7, 8, arqueogonios. 9, crecimiento de un esporofito joven después de la fecundación.

TIPO LICOPODINEAS (LICOPSIDA)

La fase asexual de desarrollo de las licopodíneas se encuentra representada en la actualidad por plantas herbáceas, cuyos tallos están cubiertos por una espesa capa de diminutas hojas (fig. 130).

Las licopodíneas tienen hojas de dos formas: unas cubren el tallo y son fotosintetizantes; otras forman una espiga en el ápice, se diferencian de las primeras por su forma y tienen un esporangio en su parte superior. Solamente estas hojitas diferentes son las que producen esporas; las restantes se limitan a realizar la fotosíntesis.

Entre las licopodíneas pertenecientes a la flora actual sucede lo mismo que en los helechos; las hay *isosporeas,* el licopodio, por ejemplo, cuyas esporas se emplean en Medicina como detersivo y absorbente cutáneo, y *heterosporeas* (selaginelas).

Los antecesores paleozoicos de las licopodíneas actuales estaban muy extendidos por toda la superficie del globo y eran con frecuencia árboles gigantescos.

TIPO ARTICULADAS O EQUISETINEAS (SPHENOPSIDA)

Forman parte de este tipo plantas que también son vivientes (equisetíneas). Las de la flora actual son herbáceas de pequeño porte; en la era Paleozoica, muchas de ellas (las calamitales, por ejemplo) alcanzaban dimensiones gigantescas. El rasgo característico de las equisetales es la *articulación* de su tallo y las *ramas verticiladas* (fig. 131). El tallo del *Equisetum arvense* o cola de caballo, planta muy extendida, es muy áspero y estriado, debido a que sus células epidérmicas están muy silicificadas

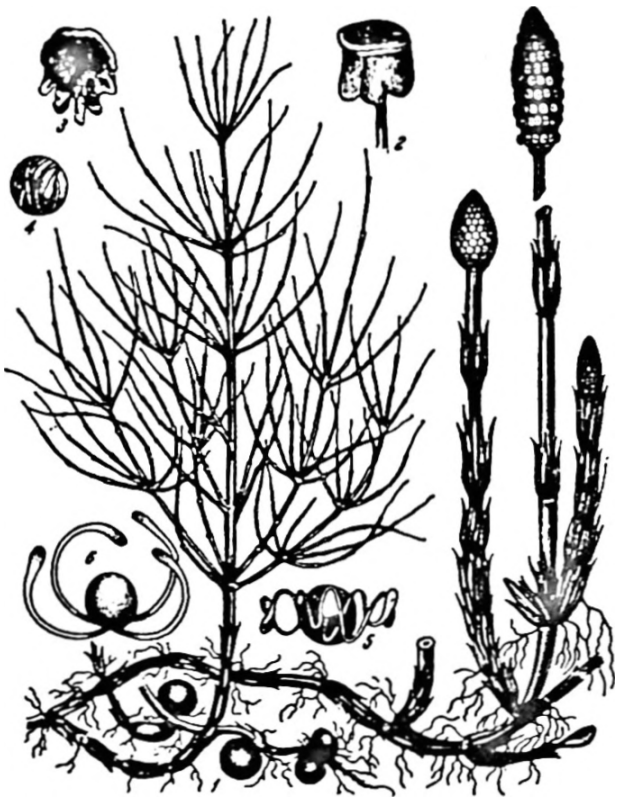


FIG. 131. Esquisetácea (*Esquisetum arvense*) (esporofito): 1, aspecto general; 2, 3, esporofilas; 4, 5, 6, esporas.

Los esporangios del equiseto se encuentran en los *esporofitos,* hojitas muy modificadas con forma de escudete, y que se agrupan en el extremo del tallo constituyendo una especie de piña. Las esporas de los equisetos no se diferencian morfológicamente: sin embargo, biológicamente no son iguales, ya que unas de ellas producen al desarrollarse gametofitos masculinos mientras que otras dan lugar a gametofitos femeninos. Tanto unos como otros son plantas de pequeñas dimensiones que no están diferenciadas en órganos. Los gametofitos femeninos son mayores que los masculinos y de distinta forma.

En la evolución del tipo de las pteridofitas se pueden señalar las siguientes particularidades de desarrollo individual: el gametofito se reduce,

se hace sexualmente dimorfo; el esporofito se caracteriza por la diferenciación progresiva de su cuerpo en miembros y por ser mucho mayor que el gametofito; las esporas se diferencian (a veces, esporas que exteriormente son iguales se distinguen biológicamente, ya que producen gametofitos de diferente sexo); se diferencian también las hojas (las que realizan la fotosíntesis y las portadoras de las esporas).

P. F. Goriáninov señalaba en 1834 la semejanza entre las pteridofitas y las gimnospermas. En su sistema filogenético colocó las gimnospermas entre las pteridofitas y las angiospermas.

El botánico ruso V. I. Beliáev contribuyó grandemente al estudio del desarrollo individual de las pteridofitas heterosporeas. Sus investigaciones sobre el gametofito masculino de las licopodíneas heterosporeas y de los helechos de agua, han contribuído en alto grado a establecer la relación existente entre las plantas esporíferas y el tipo superior, el de las espermofitas.

En 1876, el botánico ruso Gorozhankin unificó las gimnospermas con las pteridofitas en el grupo de plantas *arquegoniales*, agrupación que tiene gran importancia, pues indica la ausencia de una barrera infranqueable entre las plantas con esporangios y las espermofitas, como se suponía antes.

ESPERMOFITAS (SPERMATOPHYTA)

Integran las plantas espermofitas o fanerógamas dos tipos: las *gimnospermas* y las *angiospermas*. A pesar de las grandes diferencias existentes entre ambas, presentan rasgos comunes en lo que se refiere a los aspectos más importantes de su organización. Lo más característico de las espermofitas es que tienen *semillas*. La semilla es una formación compleja cuyos rasgos principales son la presencia: 1) del embrión de la futura planta con los órganos fundamentales —la gémula, la plúmula y los cotiledones—; 2) de un tejido especial, el albumen, de materias nutritivas; 3) de un tegumento exterior resistente, la testa, encargado de proteger los delicados tejidos y órganos interiores de los cambios desfavorables del medio exterior.

Los embriones de las plantas espermofitas jóvenes se desarrollan, al principio, en estrecho contacto con la planta madre y bajo su protección. Una vez madura, la semilla se separa del organismo materno, siendo transportada a veces a grandes distancias. La semilla, por tanto, favorece la diseminación de la especie.

TIPO GIMNOSPERMAS

Cn grupo interesantísimo lo constituyen los llamados helechos espermatofíticos, descubiertos a principios de siglo. Estas plantas se asemejan mucho exteriormente a los helechos, pero en sus hojas se han encontrado verdaderas semillas con gérmenes de futuras plantas. El estudio ulterior ha demostrado que estas plantas son heterosporeas.

La macrospora se desarrolla, sin desprenderse de la planta madre, convirtiéndose en un gametofito femenino, de tan pequeñas dimensiones que no sobrepasa los límites de la macrospora. En la misma planta madre tuvo lugar la fecundación y comenzó a desarrollarse la nueva planta, el esporofito. Sin embargo, este desarrollo se interrumpió; dentro del macrosporangio se acumularon, a la vez que se desarrollaba el embrión, sustancias nutritivas; el macrosporangio se rodeó de una nueva cubierta, después tranformada en la cáscara de la semilla. Así es como aparecieron éstas. Los helechos espermatofíticos no son, pues, helechos verdaderos, sino las primeras plantas espermatofitas.

Los macrosporangios se conocen en la morfología de las espermofitas con el nombre de óvulos, ya que son como la yema a partir de la cual ha de desarrollarse la semilla. La macrospora, de la que se desarrolla el gametofito femenino y, después de la fecun-

dación, el embrión del esporofito, ha recibida la denominación de célula inicial del saco embrionario.

El gametofito —saco embrionario— quedó tan reducido que acabó por perder la independencia, convirtiéndose en una parte del esporofito, del que ya no se desprende.

Esta transformación desempeñó gran papel en el desarrollo sucesivo de las plantas superiores, ya que emancipó la reproducción sexual del medio acuático, asegurando condiciones óptimas para el desarrollo del nuevo esporofito, el embrión de la semilla.

La evolución del mundo vegetal continuó en este mismo sentido de una reducción cada vez mayor del gametofito y de una mayor emancipación de las plantas en su totalidad del medio ambiente primitivo de vida.

Entre las gimnospermas de la flora actual se puede seguir fácilmente el paso a las angiospermas superiores.

Una serie de formas actuales de angiospermas, cuyos grados de organización son diferentes, parecen reflejar las formas que surgieron en el pasado histórico.

FIG. 132. Cicadáceas.

Las cicadáceas actuales (fig. 132) y las coníferas (fig. 133) son un ejemplo de semejante serie evolutiva.

Las cicadáceas viven hoy día en los trópicos. Aparecieron por primera vez en el período pérmico (era Paleozoica), siendo durante el Mesozoico el grupo de árboles más extendido. Por su aspecto general se asemejan en la mayoría de los casos a los helechos arborescentes, con elevados troncos, cubiertos por cicatrices de hojas caídas, que tienen en la parte superior una corona de grandes hojas pinnadopartidas (fig. 132).

Los antecesores de las coníferas actuales aparecieron algo después que las cicadáceas.

Las coníferas se caracterizan por sus pequeñas hojas aciculares o escamosas y por sus conos o estróbilos constituídos por hojas transformadas en escamas densamente dispuestas, con macrosporangios, que en las gimnospermas se llaman óvulos; en otras piñas, las escamas contienen microsporangios o sacos polínicos. Poseen ciertos rasgos anatómicos específicos.

Forman parte de las coníferas de la flora actual muchas plantas que crecen en las regiones septentrionales: el pino, el abeto, el enebro, el alerce

(una de las pocas coníferas de hojas caedizas), y también plantas de los países cálidos, como el ciprés, la tuya, el tejo, etc.

TIPO ANGIOSPERMAS

Las angiospermas representan el grupo vegetal más joven; hizo su aparición en la era Mesozoica. Se extendieron rápidamente y ocupan en la actualidad el lugar predominante entre las plantas que pueblan la corteza terrestre.

En comparación con las gimnospermas hay que señalar la aparición del *pistilo* o *gineceo*, formado por varias hojas transformadas, los carpelos, unidos por los bordes, que constituye el aparato sexual femenino.

La semilla no se desarrolla al descubierto, como sucede en las gimnospermas, sino encerrada dentro del pistilo. En el gineceo se distingue una

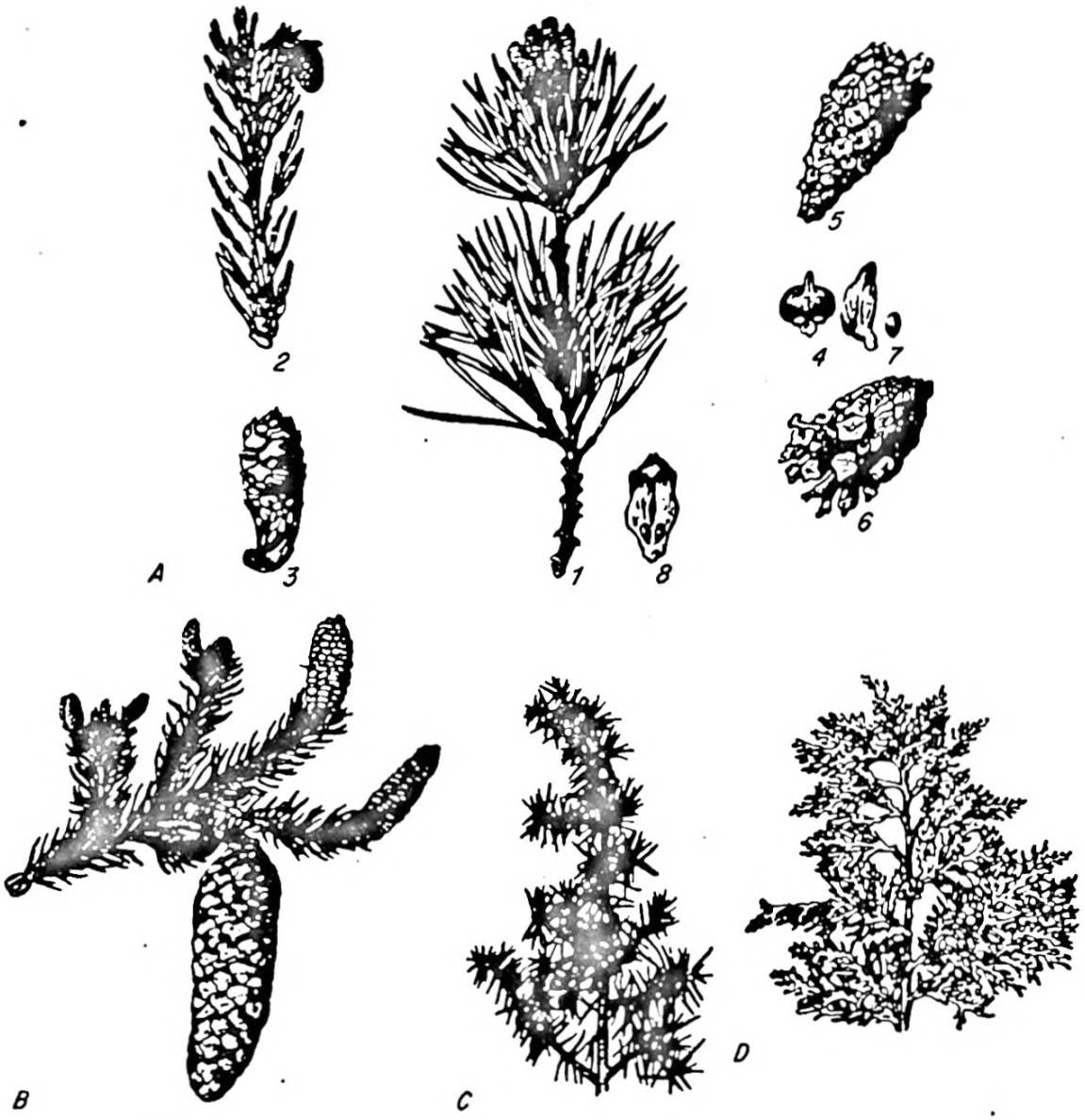


FIG. 133. Coníferas. A, pino albar (*Pinus silvestris*): 1, rama con flores masculinas; 2, rama con flores femeninas; 3, flor femenina; 4, esporofila o escama con los sacos polínicos; 5, 6, inflorescencias maduras; 7, semilla; 8, escama con semillas. B, abeto del Norte (*Picea excelsa*), C, enebro (*Juniperus*). D, tuya oriental (*Biota orientalis*).

parte inferior más o menos hinchada, el *ovario,* en el que, después de la fecundación, germina la semilla; la semilla se engendra en los óvulos situados dentro de la cavidad ovárica; el fruto, que contiene semillas, se desarrolla a partir del ovario. Los carpelos se estrechan en la parte superior del ovario. formando un conducto, el *estilo,* que tienen en su vértice el *estigma.*

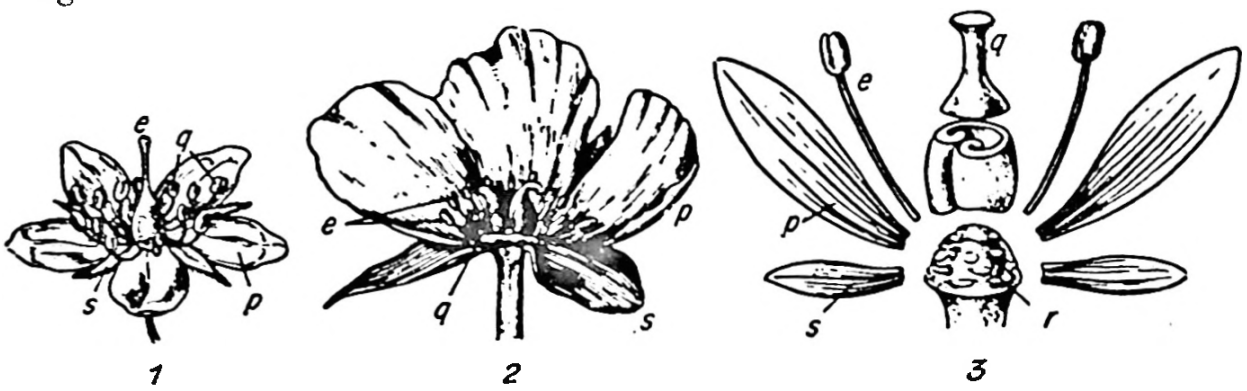


Fig. 134. 1, flor completa; 2, flor de peonía (sección longitudinal) con muchos estambres y dos pistilos (los demás se han arrancado); 3, partes que componen la flor (esquema); *r,* receptáculo; *s,* sépalos; *p,* pétalos; *e,* estambres, *q,* pistilo.

Por tanto, las semillas de las angiospermas, que se desarrollan a partir de los óvulos, se ven protegidas por el pistilo, cuyo ovario produce después de la fecundación el fruto.

Los estambres (fig. 134), cuyo conjunto da lugar al aparato sexual masculino o *androceo,* suelen constar de dos partes: el *filamento* y la *antera;* en las anteras se desarrollan las microsporas o granos de polen.

Aparte del pistilo y del fruto que se forma a partir de él, las angiospermas se caracterizan por tener una flor, de donde deriva su otra denominación, la de antofitas. En la flor se distingue, aparte del pistilo y de los estambres, el llamado periantio, que también está constituído por hojas transformadas. Puede estar dividido en una parte exterior, el cáliz, generalmente de color verde, y otra interior, la corola, constituída frecuentemente por pétalos de tonalidades variadas (fig. 134).

La flor es un brote transformado. El ápice del tallo, acortado y ensanchado, ha perdido su facultad de crecimiento ilimitado y se ha convertido en una parte achatada, el receptáculo, que sostiene todos los órganos de la flor.

Las flores más corrientes son las hermafroditas, que tienen androceo y gineceo. Sin embargo, existen también flores unisexuales. Las flores de diferente sexo pueden encontrarse en el mismo pie, dando lugar a las plantas monoicas (el maíz, el pepino, la calabaza, el roble, etc.), o bien en pies diferentes, en cuyo caso se llaman dioicas (el cáñamo, la ortiga, el sauce, el álamo, etc.). Las flores monoicas aparecieron quizá en el proceso de evolución como uno de los modos de realizar la polinización cruzada, que consiste en trasladar el polen al estigma de la flor de otra planta. Este traslado se realiza con ayuda del viento o de los insectos.

Las flores que realizan la polinización con ayuda del viento (anemófilas) producen gran cantidad de polen muy ligero y seco; sus estigmas, encargados de capturar el polen que va por el aire, tienen con frecuencia largas papilas que sobresalen de la flor; a la vez su perianto es de tamaño re-

ducido para no dificultar la polinización. Estas flores no son llamativas y no atraen la atención (por ejemplo, las de las gramíneas, fig. 135). En cambio, las flores que realizan la polinización con ayuda de los animales (zoófilas), sobre todo de los insectos (polinización entomófila), poseen otros rasgos muy diferentes.

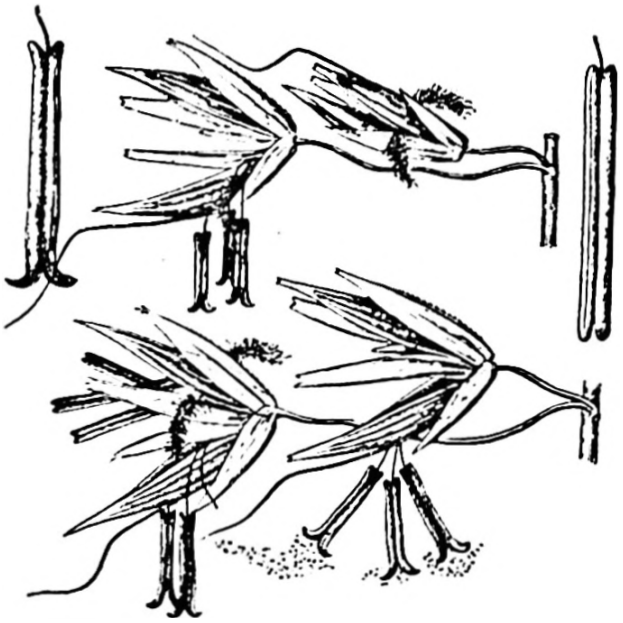


FIG. 135. Flores de gramíneas anemófilas.

Durante el largo proceso evolutivo de las angiospermas o fanerógamas —plantas antofitas—, han ido apareciendo una serie de rasgos que las relacionan con los agentes polinizadores. El periantio, que al principio desempeñaba un papel exclusivamente protector, adquiere a lo largo de la evolución una coloración variada, que atrae la atención de los insectos (mariposas, abejas, moscardones, moscas, etc.) y a veces de pájaros de pequeño tamaño (colibríes), algunos de los cuales se alimentan, bien con néctar dulce, bien con el excedente de polen. Las glándulas que elaboran el néctar dulce, los nectarios, son uno de los rasgos característicos de las flores entomófilas (fig. 136). A los insectos les atrae no sólo el color, sino también el tamaño y a veces la llamativa forma de las flores. Por la misma razón, cuando son pequeñas aparecen a veces agrupadas de manera diversa, constituyendo las llamadas inflorescencias, que destacan tanto como las flores individuales de gran tamaño.

FIG. 136. Flores entomófilas.

Uno de los procedimientos más frecuentes de atraer a los insectos es el variado olor de las flores (desde los suaves perfumes que atraen a abejas, mariposas y otros insectos, hasta el olor de carroña, que atrae a diferentes clases de moscas).

La selección natural ha creado diferentes dispositivos para realizar la polinización cruzada por medio de los insectos. Especialmente, las flores polígamas los poseen muy delicados para llevar a cabo esta polinización.

Los insectos que acuden a determinadas flores para nutrirse, están por su parte muy bien adaptados a ellas (la constitución de la trompa, de las patas, etc.). El polen se adhiere a diferentes partes del cuerpo del insecto, siendo transportado por él desde una flor a otra de la misma especie.

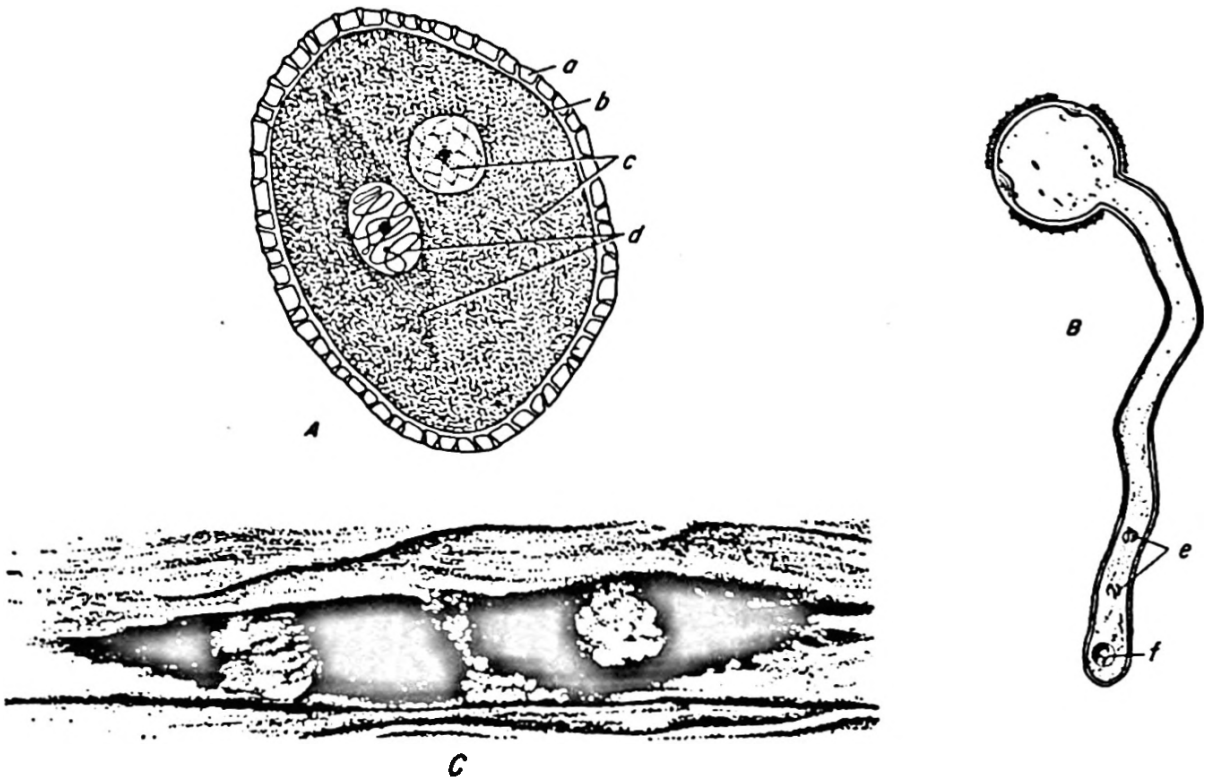


FIG. 137. Desarrollo del polen de las angiospermas. A, grano maduro de polen de una liliácea: *a* y *b*, membranas; *c*, núcleo y citoplasma de la célula vegetativa; *d*, núcleo y citoplasma de la célula germinativa; B, grano de polen, que se ha desarrollado originando el tubo polínico; se ven los núcleos espermáticos (*e*) y el núcleo de la célula vegetativa (*f*); C, núcleos espermáticos en el tubo polínico del *Hymenocallis* (muy aumentado).

A causa de ello, el polen de las plantas entomófilas posee características diferentes a las del polen de las anemófilas: es pegajoso, frecuentemente tiene la superficie con asperezas de forma varia, surcos, verrugas, etc., que facilitan su adherencia al insecto que se posa en la flor.

¿Cuál es el origen de las angiospermas, este tipo superior de vegetales? Ya en 1834, P. F. Goriáninov señalaba la semejanza entre las anteras y los microsporangios y entre los óvulos y los macrosporangios.

Como ya hemos indicado, Goriáninov fue el primero en incluir, en su sistema, las gimnospermas entre las pteridofitas y las angiospermas, mostrando con ello la relación genética existente entre estos grupos.

Mucho después, en 1851, las escrupulosas investigaciones llevadas a cabo por Hofmeister, y luego por Beliáev y Gorozhánkin, acerca del desarrollo de las briofitas, las pteridofitas y las espermofitas, confirmaron la hipótesis de Goriáninov

Los estambres son, pues, hojas transformadas, que contienen microsporangios (anteras) con las microsporas que se desarrollan en ellos, los granos de polen. Las anteras conservan una gran semejanza con los microsporangios de las pteridofitas heterosporeas.

Mucho más modificados están los óvulos que corresponden a los macrosporangios de las pteridofitas heterosporeas. Aparecen cubiertos por tegumentos y ocultos dentro de los carpelos que forman el pistilo. En el interior de estos óvulos se encuentra una ma-

crospora de grandes dimensiones, que en las espermofitas recibe el nombre de célula inicial del saco embrionario, por ser precisamente donde comienza a desarrollarse el embrión. Vistas al microscopio, puede observarse que el rasgo común de estas formaciones con las esporas es el número haploide de los cromosomas (la mitad con respecto a los que contienen los granos de polen y el saco embrionario) y que de ellas se desarrollan varias células. Estas últimas representan una fase análoga, aunque muy reducida, al gametofito de las pteridofitas superiores y las gimnospermas.

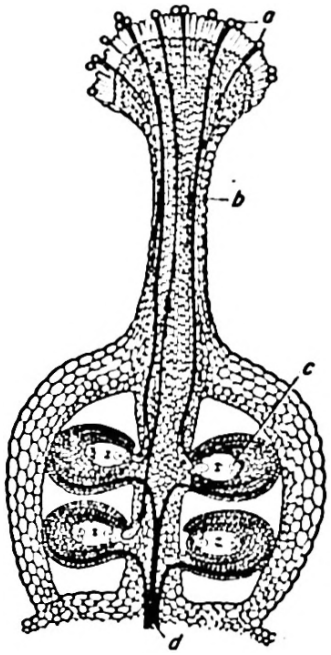


FIG. 138. Esquema de la fecundación de las angiospermas (plantas antofitas o fanerógamas): *a*, polen; *b*, tubo polínico; *c*, saco embrionario (en el saco embrionario se ve una oosfera con dos sinérgidas, dos pronúcleos secundarios, que aún no se han fundido, y tres antípodas); *d*, haces vasculares.

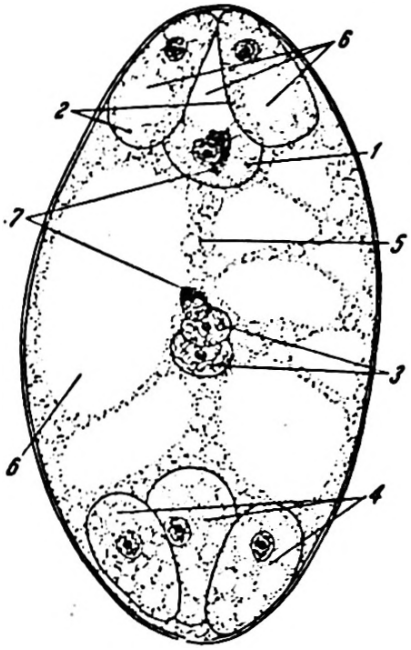


FIG. 139. Esquema de la doble fecundación de las angiospermas: 1, oosfera; 2, sinérgidas; 3, pronúcleos secundarios en trance de fusión; 4, antípodas; 5, citoplasma del saco embrionario; 6, vacuolas; 7, los dos núcleos espermáticos.

La aparición de la flor es el paso a la etapa definitiva del ciclo individual en las espermofitas, a la aparición durante el desarrollo floral de células sexuales masculinas y femeninas.

El polen comienza ya a desarrollarse en la planta madre. Al principio da lugar a una célula hija, la célula germinativa (fig. 137) (la célula madre recibe el nombre de vegetativa). En lo sucesivo, ambas células se desarrollarán de diferente manera: la célula vegetativa dará origen al tubo polínico, pero no producirá nuevas células; la célula germinativa, en cambio, originará dos células hijas.

Estas células nuevas son las células sexuales masculinas, los núcleos espermáticos. En las angiospermas ambos núcleos espermáticos participan en la fecundación.

El polen maduro pasa a la fase de reposo, que en las distintas plantas tiene lugar en diferentes etapas de su desarrollo. Dentro de los óvulos se verifican los siguientes cambios: una célula de grandes dimensiones, el saco

embrionario, produce, al desarrollarse, siete células. En cada polo del saco maduro hay tres células (en total seis), una de las cuales es la oosfera (figuras 138 y 139). La séptima célula se halla en el centro y se denomina secundaria.

Cuando la célula vegetativa del polen maduro va a parar al estigma del estilo, que segrega sustancias azucaradas, se convierte en un largo tubo polínico, el cual penetra en el canal del estilo y llega hasta el óvulo, que se encuentra en el ovario (fig. 138).

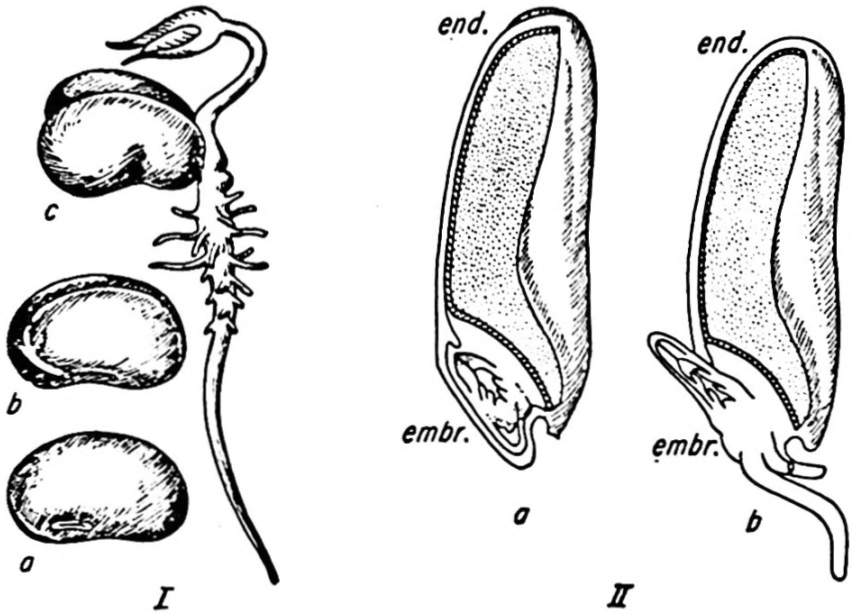


FIG. 140. Estructura de la semilla. I. Semillas de frijoles: *a*, parte externa; *b*, parte interior del cotiledón; *c*, desarrollo del embrión. II. Grano de trigo en sección longitudinal: *a*, antes de comenzar a germinar; *b*, al comienzo la germinación. (En la parte superior de la figura II pone *end:* en la inferior, *embr.*, que corresponden a las abreviaturas de endospermo y embrión.)

Los núcleos espermáticos avanzan por el tubo polínico y penetran en el saco embrionario. Ambos núcleos espermáticos participan en la fecundación: uno de ellos se funde con la oosfera dando lugar al zigoto, a partir del cual se desarrolla el embrión de la nueva planta; el otro, se funde con el núcleo secundario del saco embrionario (fig. 139). Como resultado de esta segunda fecundación se forma también otro zigoto que da lugar a un desarrollo y aparece un tejido pluricelular, el llamado endospermo o albumen, en el que se acumulan sustancias nutritivas; gracias al metabolismo asentado en el endospermo, se produce el crecimiento y desarrollo del embrión en los comienzos de su vida independiente.

El fenómeno descrito se conoce con el nombre de fecundación doble. Lo descubrió S. G. Navashin, profesor de la Universidad de Kíev, y representa una nueva formación importante, característica sólo de las angiospermas.

En las plantas antofitas el tejido nutritivo es, lo mismo que el embrión, resultado de la fecundación; por tanto, no sólo el embrión, sino su alimento llevan consigo una herencia doble, lo que eleva la vitalidad de la generación nueva. La fecundación doble es una de las expresiones morfológicas

del fenómeno muy extendido de interacción entre los elementos sexuales masculinos y todo el organismo femenino, y no sólo con la oosfera, como se creía antes.

Como resultado de la fecundación, el zigoto da origen al embrión de la nueva planta; el núcleo secundario del saco embrionario produce, luego de fecundado, el endospermo de la semilla; los óvulos dan lugar a las semillas, y el ovario, al fruto.

FIG. 141. Semillas y frutos voladores: *a*, a_1, frutos del diente de león; *b*, frutos del cardo; *c*, semillas del pino; *d*, frutos del arce; *e*, racimo de frutos del tilo; *f*, frutos del carpe; *g*, frutos del olmo; *h*, frutos del abedul.

La semilla está cubierta exteriormente por una envoltura protectora resistente, que se desarrolla, como en las gimnospermas, a partir de los tegumentos ovulares.

En algunas plantas, durante la formación de la semilla, el embrión utiliza todo el endospermo y acumula nuevas sustancias nutritivas elaboradas por él mismo. Estas sustancias se acumulan en tales casos en las primeras hojas del embrión, los cotiledones, que son hojas embrionarias transformadas. Así se observa en las semillas de las leguminosas: frijoles, guisantes, etc. (fig. 140). Otras plantas conservan el endospermo en la semilla madura (trigo, centeno, maíz, etc.).

Los frutos de las antofitas, aparecidos en el proceso evolutivo, cumplen una función nueva: al mismo tiempo que protegen el embrión de la futura planta, oculto en su interior, favorecen con frecuencia la diseminación de las semillas y la difusión de los organismos vegetales. Debido a ello, los frutos poseen dispositivos muy variados, según las condiciones del medio que le rodea. En el transporte de las semillas y de los frutos participan los mismos factores que en el caso del polen.

Pelillos de diferente forma, pelusillas, aditamentos alados, favorecen la anemofilia de las semillas (álamo, sauce, algodón) y de los frutos (diente de león, arce, olmo) (fig. 141). Muchas semillas pequeñas, como el tabaco y otras plantas, son también arrastradas por el viento.

En algunos frutos secos se abren orificios o hendiduras, por los que salen las semillas cuando la planta se balancea al viento, como sucede con las amapolas, el estramonio, etc. (fig. 142). Los animales diseminan los frutos y semillas que tienen dispositivos para adherirse, ganchos o una superficie pegajosa.

FIG. 142. Frutos secos dehiscentes: *a*, nigella; *b*, corazoncillo; *c*, trinitaria; *d*, amapola; *e*, beleño negro; *f*, sensitiva; *g*, *h*, algodón.

Los frutos carnosos atraen a los animales (aves, mamíferos) por su sabor y, frecuentemente, su coloración llamativa (fig. 143). Las semillas de semejantes frutos están bien defendidas por una cáscara resistente o por una parte del pericarpio (hueso), que las protege cuando atraviesan el aparato digestivo del animal. Al comerse el fruto, el animal favorece la difusión de las semillas.

La importancia de las plantas superiores para todos los seres orgánicos y para el hombre es excepcional y muy diversa. Muchas de estas plantas gozan de propiedades curativas, siendo digno de atención el hecho de que grandes grupos de plantas (familias) posean sustancias medicinales análogas (por ejemplo, las familias de las solanáceas, labiadas, papaveráceas, rubiáceas, etc.). Eso demuestra la semejanza en el metabolismo de las distintas plantas de una misma familia.

En plantas diferentes, incluso de la misma familia, los productos medicinales se extraen de distintos órganos, por ejemplo, en la manzanilla y en algunas especies de ajenjo (compuestas), de la flor; en el diente de león (de la misma familia), de la raíz, y en la milenrama, de todos los órganos aéreos.

En otros muchos casos se utilizan también diferentes productos de la actividad vital del mismo órgano; por ejemplo, en los frutos de la frambuesa (rosáceas) hay vitaminas, ácidos orgánicos y aceites esenciales; en las semillas de la almendra amarga (de la misma familia) hay un aceite y un glucósido; en las semillas de la mostaza (crucíferas) hay también los correspondientes aceites y el correspondiente glucósido, etc.

Hay que añadir que muchas plantas medicinales se utilizan para preparar infusiones, cocimientos, etc. (por ejemplo, el muguete, la valeriana, el adonais, etc.). En estos casos, el efecto curativo no se debe únicamente al

cuerpo extraído de la planta, sino a un complejo de sustancias, producto de la actividad vital de diferentes órganos.

Las angiospermas o plantas antofitas son los representantes de organización más superior dentro de las cormofitas. En comparación con las gimnospermas, han adquirido en el proceso evolutivo una serie de características en su organización, que elevan el nivel general de su vitalidad y su capacidad de adaptación. Estas características son las siguientes: 1) una flor con diferentes dispositivos para realizar la polinización cruzada; 2) un pistilo, que protege los óvulos; 3) una fecundación doble; 4) el fruto, que protege la semilla y favorece su difusión.

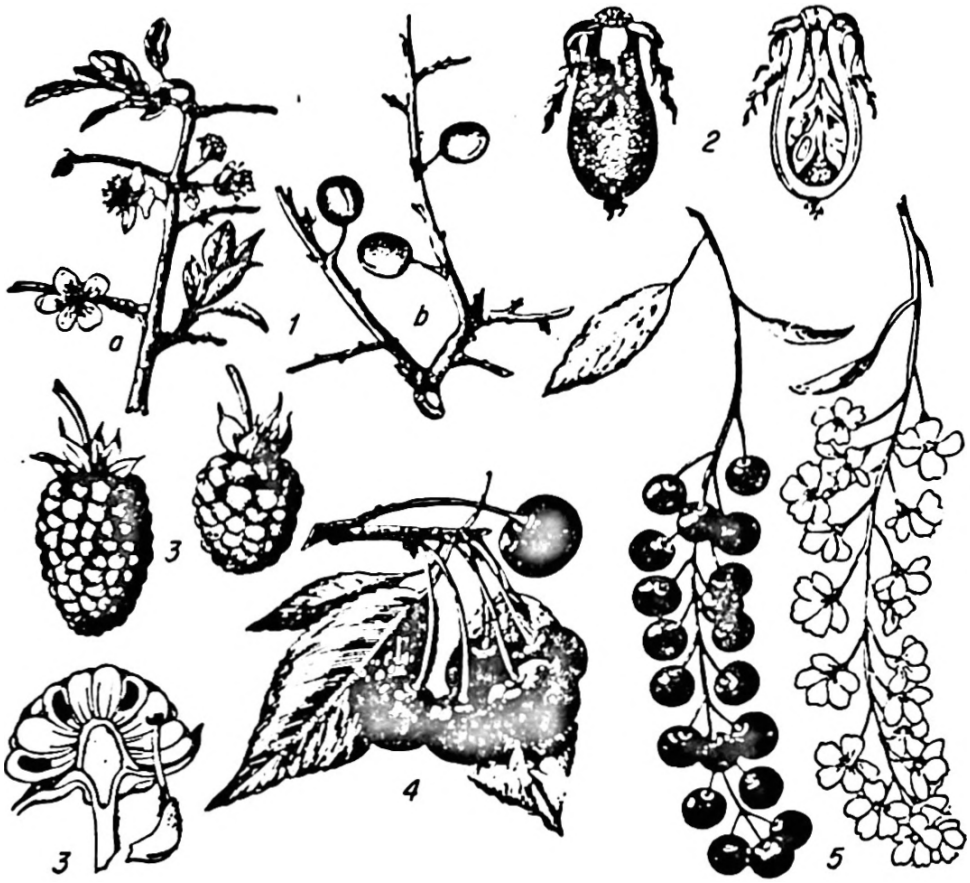


FIG. 143. Frutos carnosos: 1, endrino (*Prunus spinosa*): *a*, rama con flores; *b*, rama con frutos. 2. Escaramujo (*Rosa canina*). 3. Frambuesa (*Rubus idaceus*). 4. Cerezo común. 5. Cerezo silvestre (*Padus racemosa*), racimos con flores y frutos.

Dentro del tipo de las angiospermas hay dos clases, las *monocotiledóneas* y las *dicotiledóneas*. Este nombre se basa en las diferencias que existen en la estructura del embrión de la semilla; en las monocotiledóneas el embrión contiene, además de la gémula y la plúmula, una hoja transformada, el cotiledón.

El embrión de las dicotiledóneas posee, además de la gémula y la plúmula, dos cotiledones, que frecuentemente acumulan sustancias nutritivas de reserva, como sucede en las leguminosas y otras.

Las monocotiledóneas se diferencian de las dicotiledóneas por otros caracteres.

Las dicotiledóneas tienen dispuestos los haces fibro-vasculares en forma circular. El tejido parenquimatoso, que se halla en el centro, se llama médula y la parte que se encuentra entre los haces, radios medulares; hacia la parte exterior del anillo formado por estos haces vasculares aparece en el tallo anual la primera corteza.

En las monocotiledóneas, los haces vasculares están distribuidos en todo el espesor del tallo.

En las dicotiledóneas hay entre el floema y el xilema una delgada capa de células jóvenes de tejido embrionario, el *cambium*. A partir del cámbium se desarrollan los elementos del floema, el líber, que se encuentra en la periferia, y los del xilema, el leño, que ocupa la parte central. Así es como aumentan de diámetro los tallos plurianuales.

La velocidad reproductora de las células del cambium está relacionada con las estaciones del año, a lo cual se debe la aparición de los anillos leñosos anuales, que permiten determinar la edad del vegetal.

Los haces vasculares de las monocotiledóneas carecen de cambium. Existen también diferencias en la estructura de la hoja: en las hojas de las dicotiledóneas los haces fibro-vasculares forman una red de "nerviaciones" que se ramifican; en las hojas de las monocotiledóneas los nervios son más o menos paralelos entre sí. Tanto unas como otras aparecieron casi al mismo tiempo, al principio de la era Mesozoica, y representan dos ramas de desarrollo que han conquistado la primacía entre otras plantas debido a las características de su organización.

CAPÍTULO IX

TIPOS DEL REINO ANIMAL

La Zoología moderna divide el mundo animal en una serie de tipos. La clasificación más corriente los agrupa en doce. En esta obra nos limitaremos a estudiar únicamente diez de ellos:

1) Protozoos (Protozoa).
2) Poríferos (Spongia).
3) Celentéreos (Coelenterata).
4) Platelmintos (Plathelmintha).
5) Nematelmintos (Nemathelmintha).
6) Anélidos (Anhelida).
7) Artrópodos (Arthropoda).
8) Moluscos (Mollusca).
9) Equinodermos (Echinodermata).
10) Cordados (Chordata).

TIPO I. PROTOZOOS (PROTOZOA)

Forma parte de los protozoos un numeroso grupo de animales en los que lo característico es, ante todo, el cuerpo integrado por una sola célula.

El protozoo constituye un organismo independiente; su cuerpo es de una estructura muy compleja, lo que dificulta la comparación entre él y el organismo pluricelular.

Las dimensiones medias de los protozoos oscilan entre 50 y 150 μ; las formas más pequeñas miden de 2 a 3 μ; las de tamaño relativamente grande alcanzan de 1 a 3 mm, e incluso más. Los caparazones de algunos rizópodos o sarcodarios llegan a tener 2 y 3 cm.

La forma del cuerpo de los representantes de este tipo es muy variada y se relaciona con su modo de vida.

Los protozoos están muy extendidos por el globo terráqueo: viven en todos los lugares en que hay humedad: en el agua dulce y salada, en el suelo, en el musgo húmedo, etc.

Una gran parte de los protozoos son parásitos del hombre y de los animales; muchos de ellos son muy peligrosos y producen graves enfermedades, que a veces causan la muerte. Los protozoos parásitos, lo mismo que los que viven libres, habitan medios líquidos, parasitan la sangre, los humores de los tejidos, el protoplasma de las células, el contenido del intestino, etc.

El cuerpo de los protozoos está constituido por el protoplasma, que contiene uno o varios núcleos. Generalmente, se distinguen en él dos ca-

pas: una exterior homogénea, delgada y relativamente espesa, el *ectoplasma*, y otra interior, más líquida, el *endoplasma* o *polioplasma*. La parte superficial del ectoplasma suele ser más densa, formando una finísima membrana periférica, que se llama *película protoplasmática*. La forma relativamente constante del cuerpo de los protozoos se debe a esta membrana fundamental, que forma parte de la sustancia viva del cuerpo. En otros casos, el ectoplasma produce una membrana especial, llamada *cutícula*, que no posee las propiedades de la película viva. Puede llegar a independizarse del cuerpo del protozoo y constituir un caparazón.

En el endoplasma se observa un movimiento de traslación, *ciclosis*, de sus partes; el polioplasma contiene numerosas inclusiones.

En el cuerpo de los protozoos se diferencian partes aisladas, que realizan distintas funciones vitales, y en este sentido corresponden a los órganos de los animales pluricelulares; a diferencia de los órganos, no están constituídas por células y tejidos, y son únicamente partes especializadas de una célula. Llevan el nombre de *orgánulos*.

El desplazamiento del protozoo se lleva a cabo con ayuda de los orgánulos de movimiento, los *flagelos*, los *seudópodos* y los *cilios*. Estas formaciones desempeñan también un importantisimo papel en el proceso de la alimentación, en la búsqueda y la aprehensión de la comida.

La nutrición de los protozoos se realiza mediante la ingestión de partículas orgánicas sólidas, procedimiento *vacuolar* de alimentación, o bien por *ósmosis*, cuando cualquier parte de la superficie del animal absorbe las sustancias nutritivas. De este procedimiento se sirven los protozoos que no poseen orgánulos de nutrición. Uno de los tipos de alimentación osmótica consiste en asimilar productos orgánicos muertos (de origen animal o vegetal) y constituye la llamada nutrición *saprozoide (saprofítica);* cuando se realiza a expensas de los jugos de otro organismo se denomina *parásita*.

Algunos protozoos contienen clorofila, es decir, que son organismos autótrofos como las plantas (alimentación holofítica o vegetal, a diferencia de la heterótrofa o animal).

Los orgánulos de nutrición que poseen los protozoos son el *citostoma*, una *citofaringe* de estructura variada y las *vacuolas digestivas*. Los orgánulos excretores son las *vesículas contráctiles* o *vacuolas pulsátiles* (que también realizan la función respiratoria y regulan la presión osmótica). Algunos protozoos poseen un complejo sistema de formaciones esqueléticas. Debido a la presencia de unos u otros orgánulos, la estructura de los protozoarios puede llegar a ser muy complicada.

Los protozoos gozan, lo mismo que todos los organismos animales, de irritabilidad, que se revela en forma de *taxias* o *tactismos*.

En condiciones de vida desfavorables o en determinados períodos de su ciclo vital, la mayoría de los protozoos crea cubiertas protectoras, llamadas *quistes*, que pueden tener diferente forma, aunque predomina la esférica. Las envolturas de los quistes son dobles e incluso triples. El *enquistamiento* constituye un importante procedimiento al que recurren los protozoarios en su lucha por la vida.

El animal contrae sus prolongaciones filiformes, se libera de las inclusiones nutritivas, disminuye la superficie del cuerpo, redondeándolo, y segrega las envolturas del quiste. Todos los procesos vitales se reducen al mínimo. Se interrumpe la ingestión de alimentos y la contracción de las

vacuolas pulsátiles, inmovilizándose el animal. La cubierta del quiste le protege de los cambios del medio ambiente e impide su desecación.

El proceso de liberación del quiste se llama *desenquistamiento*. Se realiza cuando vuelven las condiciones favorables de vida, lo que en las formas parásitas está relacionado con la penetración en el organismo de otro huésped, en cuyo intestino se disuelven los quistes bajo la acción del jugo intestinal.

Después del desenquistamiento suele venir la reproducción, que puede ser monogónica, anfigónica y también combinada, alternándose una y otra *(metagénesis)*.

Un rasgo importante del proceso reproductor de la mayoría de los protozoarios es el que los seres se convierten totalmente en formas sexuales. Los gametos constituyen una fase determinada del ciclo vital del protozoo.

La metagénesis suele estar relacionada en los protozoos parasitarios con el cambio de huésped o con la permanencia de los quistes en el medio exterior.

Según la constitución de los orgánulos y, en parte, del carácter de la reproducción, los protozoos se dividen en subtipos y clases:

Subtipo I.—Plasmodromos (Plasmodroma):

Clase 1ª Mastigoforos o flagelados (Flagellata o Mastigophora).
Clase 2ª Sarcodarios o rizópodos (Sarcodaria o Rhizopoda).
Clase 3ª Esporozoarios (Sporozoa).

Subtipo II.—Cilioforos o infusorios (Ciliophora):

Clase 1ª Infusorios ciliados (Ciliata).
Clase 2ª Infusorios suctores o tentaculíferos (Suctoria).

SUBTIPO I. PLASMODROMOS (PLASMODROMA)

Todos los protozoarios que integran el subtipo de los plasmodromos tienen como orgánulos de movimiento seudópodos o flagelos. Nunca cilios cortos y numerosos.

Clase 1ª Flagelados o mastigoforos (Flagellata o Mastigophora)

Los representantes de esta clase se caracterizan por la presencia de uno o varios flagelos, que actúan como orgánulos de movimiento (generalmente, uno o dos; como caso excepcional llegan a ocho). A veces, el número es muy elevado. Los flagelos son finísimas prolongaciones filiformes integradas por varias fibrillas cubiertas por una envoltura, y en la mayoría de los casos se encuentran en la parte anterior del cuerpo. Algunos mastigoforos, además de flagelos poseen seudópodos. Los flagelos salen de unos *corpúsculos basilares* especiales; junto al corpúsculo basilar se halla una formación de mayor tamaño, el *blefaroplasto*. Estos orgánulos contienen acumulaciones de sustancias nutritivas, que se utilizan durante el movimiento como fuentes de energía. El cuerpo de los flagelados es de

forma diversa, frecuentemente ovalada, alargada o esférica. La película que cubre el cuerpo de los mastigoforos conserva una forma constante, aunque permite modificarla dentro de ciertos límites. La membrana de algunos flagelados es muy consistente, convirtiéndose en un caparazón quitinoide o en plaquitas de constitución química semejante a la celulosa.

El núcleo se asemeja en la mayoría de los casos a una vesícula, pobre en cromatina, que contiene uno o varios nucleolos. Muchos flagelados poseen vacuolas contráctiles.

Según el procedimiento utilizado para alimentarse, los hay con y sin orgánulos nutritivos. En el protoplasma de algunos flagelados, como la *Euglena viridis,* hay cromatóforos que contienen clorofila (figura 144) y que permiten al animal nutrirse de modo semejante a las plantas, sintetizando sustancias orgánicas. En la oscuridad, cuando el medio posee gran cantidad de estas sustancias, la euglena pierde su coloración verde y pasa a alimentarse de ellas, preparadas. Son, por tantos, organismos *mixótrofos,* es decir, que puede alimentarse de dos maneras (por procedimiento autótrofo y heterótrofo).

La mayoría de los mastigoforos que viven libres tienen ojos o *estigmas,* sensibles a la luz, que consisten en acumulaciones de un pigmento de grano muy fino.

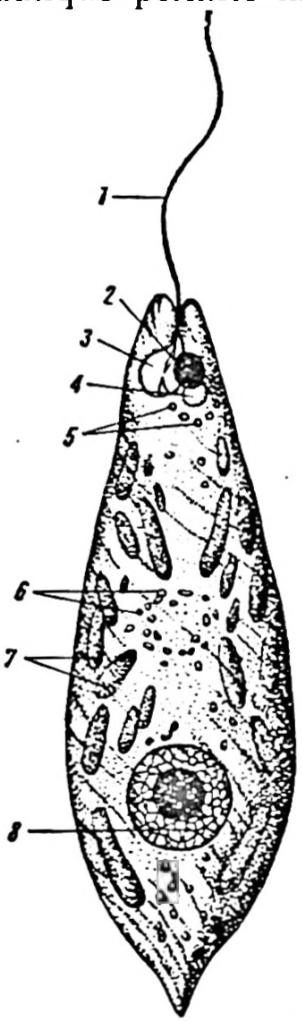


FIG. 144. *Euglena viridis*: 1, flagelo; 2, estigma ocular; 3, reservorio; 4, vacuola pulsátil; 5, vacuolas contráctiles; 6, granos paramiláceos; 7, cromatóforos; 8, núcleo.

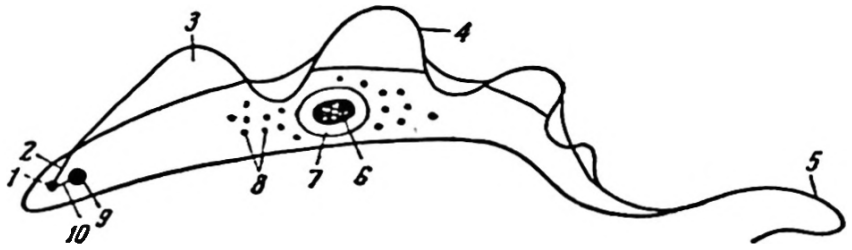


FIG. 145. *Trypanosoma gambiense*: 1, corpúsculo basal; 2, filamento axil; 3, membrana ondulante; 4, flagelo; 5, parte libre del flagelo; 6, cariosoma; 7, núcleo; 8, gránulos metacromáticos; 9, corpúsculo parabasal; 10, rizoplasto.

La reproducción de los flagelados se lleva a cabo mediante división longitudinal. Sólo algunos de ellos conocen el proceso sexual. Existen formas aisladas y que viven en colonias, como el *Pandorina* y el *Volvox.*

Los mastigoforos desempeñan un fundamental papel en la vida acuática y tienen una acción importante en el intercambio de sustancias en la naturaleza.

Para los médicos ofrecen especial interés los flagelados parásitos: tripanosomas, leishmanias y lamblias.

Tripanosomas (Trypanosoma).

Los representantes del género tripanosoma parasitan la sangre del hom-

bre y de los animales. Se caracterizan por la presencia de una *membrana ondulante*, en el borde de la cual se encuentra el flagelo.

Transmiten el tripanosoma algunos insectos hematófogos. El tripanosoma del hombre está muy extendido en Africa tropical.

El *Trypanosoma gambiense* (fig. 145) es el causante de la enfermedad del sueño. Es parásito permanente de algunos ungulados, en los que no se observan síntomas de enfermedad. El animal transmisor es la *mosca tsetsé (Glossina palpalis)*.

Los tripanosomas se reproducen en la sangre, en el líquido cefalorraquídeo y en el bazo del hombre. La enfermedad del sueño es extraordinariamente peligrosa. Si no se trata adecuadamente produce irremisiblemente la muerte. En la fauna de la U. R. S. S. no existen ni el agente patógeno ni el transmisor de esta enfermedad.

Más extendido está el *Trypanosoma equiperdum*, que produce la durina o sífilis de los caballos. Este tripanosoma se transmite por contacto directo. En las ratas se encuentra el *Trypanosoma lewisi*, que no es patógeno para ellas y lo transmiten las pulgas. Los tripanosomas son parásitos de muchas especies de mamíferos y aves.

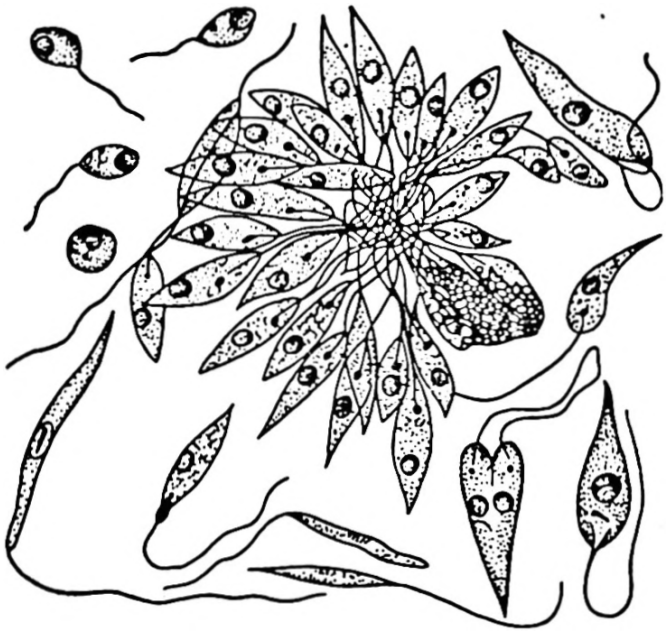


FIG. 146. *Leishmania donovani.*

Leishmania (*Leismania*).

Los representantes del género *Leishmania* son parásitos endocelulares de los vertebrados y del hombre. Durante la mayor parte de su vida tienen el flagelo reducido, debido a su situación parasitaria en el interior de las células (fig. 146). La fase de flagelado transcurre en el cuerpo del transmisor: una especie de mosquito *(Phlebotomus)*.

La *Leishmania* tropical es el causante de la leishmaniosis cutánea conocida con el nombre de botón de Oriente, de Alepo, de Delhi o de Biskra. Su agente lo descubrió en 1898 P. F. Borovski. Esta enfermedad, que existe en la U. R. S. E., en el Asia Central y Transcaucasia, se presenta en dos formas, descritas por Látishev y Kozhévnikov: una crónica y otra aguda que dura a veces hasta un año o año y medio; al principio aparece un bultito que crece lentamente y se ulcera a los tres o seis meses, e incluso más. La enfermedad llega a durar hasta más de un año. En el segundo caso, la incubación es breve, de varias semanas. La enfermedad comienza con la aparición de pápulas acompañadas de un edema, que se ulceran a los pocos días. Las úlceras son frecuentemente numerosas y suelen aparecer en las partes descubiertas del cuerpo: en la cara y las manos (fig. 147). La enfermedad se prolonga de tres o seis meses, cicatrizando en ambos casos las úlceras sin necesidad de tratamiento. La epitelización comienza a partir del centro de la

úlcera; después de su cicatrización queda una señal de aspecto muy feo. Los métodos de curación empleados no han sido muy eficaces. Es más prometedor en lo que respecta a acelerar el proceso de cicatrización el

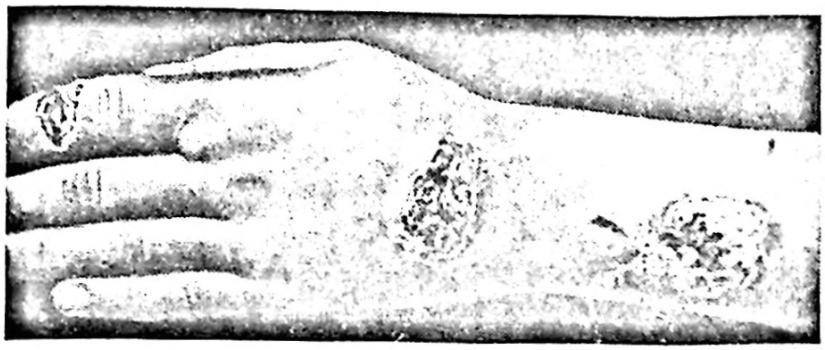


FIG. 147. Botón de Oriente, leishmaniosis cutánea en la mano.

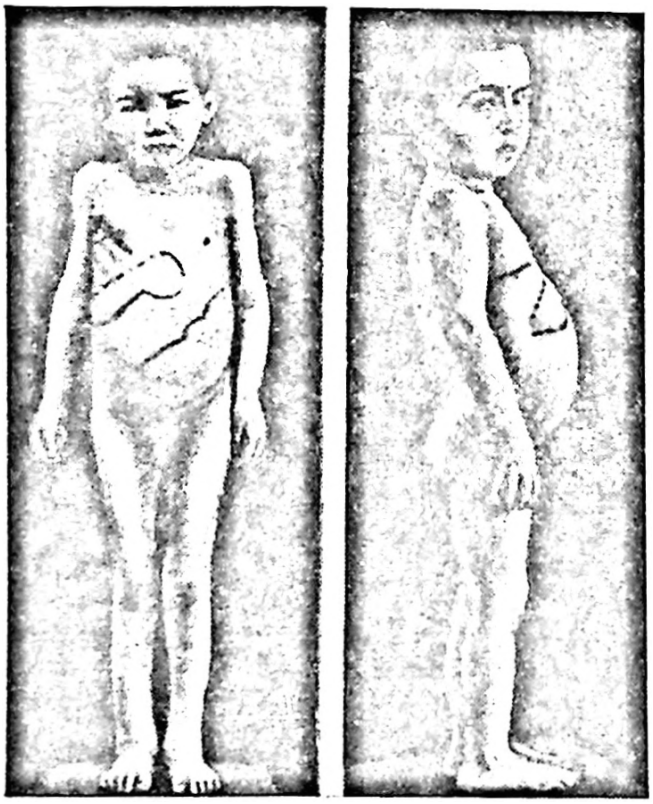


FIG. 148. Niños enfermos de Kala-azar. Gran inflamación del hígado y el bazo.

trasplante de piel de cadáveres, conservada según el método del académico V. P. Filátov. Los afectados por la enfermedad quedan inmunizados de un segundo contagio de la misma formas de leishmania subcutánea.

El foco de transmisión de la *Leishmania* tropical son, como señala Látishev, unos roedores salvajes, *Gerbillinae* (varias especies) y el *Spermophlopsis leptodoctylus*. En calidad de medidas profilácticas se recomienda el exterminio de los mosquitos, la supresión de los focos de la enfermedad mediante la destrucción de las madrigueras, y la vacunación con cultivos vivos de agentes vectores de la leishmaniosis cutánea.

El Leishmania donovani es el causante de la leishmaniosis interna, enfermedad de carácter general, conocida con los nombres de Kala-azar, esplecnomegalia tropical, enfermedad Dymdum, fiebre negra, etc. El agente patógeno no se diferencia morfológicamente de la *Leishmania* tropical. En la U. R. S. S. esta enfermedad se presenta en Asia Central y en la Transcaucasia Oriental. Esta forma parasita interiormente los protoplasmas celulares de distintos órganos: el hígado, el bazo, la médula ósea, etc. El período de incubación dura desde algunas semanas hasta nueve meses. Se trata de una enfermedad muy peligrosa, a veces mortal. Sus síntomas son: fiebre persistente, inflamación

(a veces notable) del bazo y el hígado, una anemia progresiva y agotamiento (fig. 148). Cuando la enfermedad tiene un carácter agudo suele durar varios meses; si es crónica, hasta uno y tres años. En el kala-azar las leishmanias pueden eliminarse por medio de la secresión nasal, los excrementos y la orina del enfermo. Los transmisores son los mosquitos; el foco de infección, los perros y chacales enfermos.

Trichomonas (*Trichomonadidae*).

Los representantes de esta familia se caracterizan por la presencia de varios flagelos. Del blefaroplasto sale un estilete axil o *axostilo*, que, después de atravesar el cuerpo del protozoario, sale fuera por la parte posterior. El flagelo extremo está unido a una *membrana ondulante*.

El *Trichomonas hominis* (intestinalis) tiene formas variadas, la más frecuente ovalada, y consta de tres o cuatro flagelos iguales, con una protuberancia puntiaguda en la parte posterior. El tamaño del parásito alcanza 15 μ. En la porción anterior del cuerpo hay una boca celular dispuesta longitudinalmente (figura 149). Es también posible la alimentación osmótica. Esta forma está extendida por todos los lugares. Es parásita del intestino grueso del hombre. La infección se produce a través de la comida o del agua contaminadas. El carácter patógeno del *Trichomonas hominis* no está aún muy claro. Solamente en contados casos han sido hallados trichomonas con eritrocitos ingeridos, y también en la mucosa del intestino grueso.

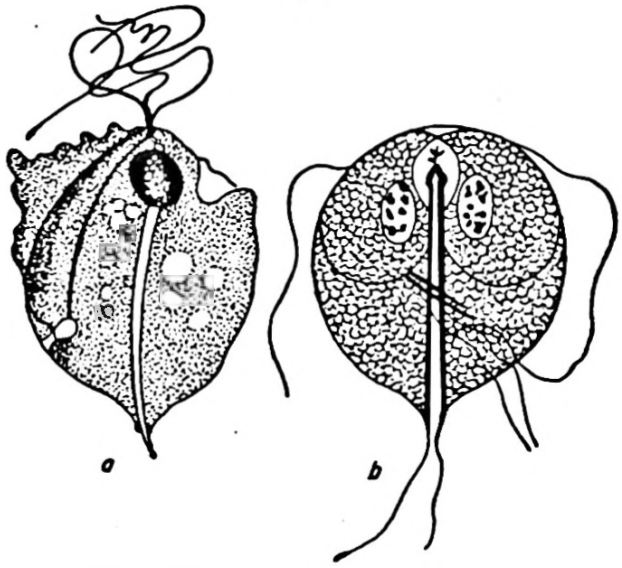


FIG. 149. *Trichomonas hominis* (*a*) y *Lamblia intestinalis* (*b*).

El *Trichomonas vaginalis* es mayor que el *Trichomonas hominis*, con un cuerpo piriforme la mayor parte de las veces y cuatro flagelos en su parte anterior. No ha sido demostrada con certeza la presencia de una boca celular; al parecer, la alimentación es sólo osmótica. El parásito se ha descubierto en el flujo vaginal de la mujer, en los casos de vaginitis, y a veces en la uretra irritada de los hombres, así como en la vejiga de la orina en los casos de catarro y cistitis. Respecto al grado patógeno del *Trichomonas vaginalis* las opiniones difieren: la mayoría de los especialistas lo consideran el causante de irritaciones pertinaces de los órganos genitales; al mismo tiempo, hay la opinión de que solamente en los procesos inflamatorios debidos a otras causas encuentra el ambiente apto para su desarrollo.

La infección se produce mediante contacto directo y también cuando no se observan las condiciones higiénicas de vida (toalla y ropa de cama comunes, etc.).

Lamblia (*Lamblia o Giardia*).

Los lamblias tienen el cuerpo de simetría bilateral, con todas las estructuras pareadas y distribuídas de forma simétrica.

El *Lamblia intestinalis* fue descrito en 1859 por el profesor de la Universidad de Járkov D. F. Lambl. La forma del cuerpo del protozoario recuerda una pera cortada por la mitad. Su extremo posterior es puntiagudo y está doblado hacia la parte dorsal convexa. En la sección ventral de la parte más ancha hay un disco adherente. La longitud del parásito oscila entre 10 y 18 μ. Entre los núcleos, de la parte anterior del cuerpo a la posterior, van dos estiletes axiles (axostilos); hay cuatro pares de flagelos: los anteriores, los ventrales medios y los caudales (fig. 149). La nutrición es osmótica. Las formas vegetativas tienen gran movilidad.

Las lamblias son parásitos del intestino delgado, sobre todo del duodeno, aunque a veces penetran en la vejiga de la orina. Se adhieren a la mucosa, irritándola y dando lugar a una intensa secreción. Se enquistan en la parte inferior del intestino, encontrándose los quistes generalmente en el excremento de la persona infectada; las formas vegetativas aparecen únicamente en casos de intensa diarrea. Las lamblias están muy extendidas: las tiene el 10 por ciento de la población adulta del globo, y en mayor proporción aún, los niños. La infección se produce al ingerir los quistes junto con la comida o al beber agua contaminada. La profilaxis consiste en proteger contra la suciedad los productos alimenticios y el agua. El remedio curativo, la atebrina.

Clase 2ª Sarcodarios o rizópodos (Sarcodaria o Rhizopoda)

El rasgo más característico de esta clase es su capacidad para formar prolongaciones temporales del protoplasma, los *seudópodos,* que les sirven para trasladarse y apoderarse de la comida. En algunos sarcodarios los seudópodos pueden aparecer en cualquier parte de la superficie del cuerpo, mientras que en otros, que tienen el cuerpo encerrado en una envoltura resistente, los seudópodos pueden surgir únicamente en los lugares donde hay orificios especiales; el número de orificios varía según los diferentes representantes de la clase.

Los sarcodarios se dividen en cinco órdenes: 1) amébidos, 2) tecamébidos, 3) foraminíferos, 4) heliozoarios y 5) radiolarios.

Amebas (*Amoebina*).

Las amebas son protozoarios desprovistos de caparazón y de esqueleto interno y cuyo cuerpo no tiene, por tanto, forma permanente. Son organismos unicelulares, a veces pluricelulares. Su protoplasma suele diferenciarse claramente en un endoplasma granulado y un ectoplasma homogéneo. Los seudópodos, que aparecen en cualquier parte del cuerpo de las diferentes amebas, tienen configuración variada: los hay laminiformes, dactiliformes, fusiformes, etc. (fig. 150). Las amebas, como se ha señalado más arriba, pueden formar seudópodos de carácter temporal. El movimiento ameboideo es una especie de lento desplazamiento del animal de un

lugar a otro. En el cuerpo se originan uno o varios lóbulos, hacia los que fluye la parte líquida del endoplasma. Después aparecen otros seudópodos y el cuerpo del protozoario avanza en su dirección.

La nutrición de las amebas está íntimamente relacionada con su movimiento. Cuando la ameba entra en contacto con pequeñas partículas (bacterias, algas, etc.) las rodea por todos los lados, hasta englobarlas en el seno

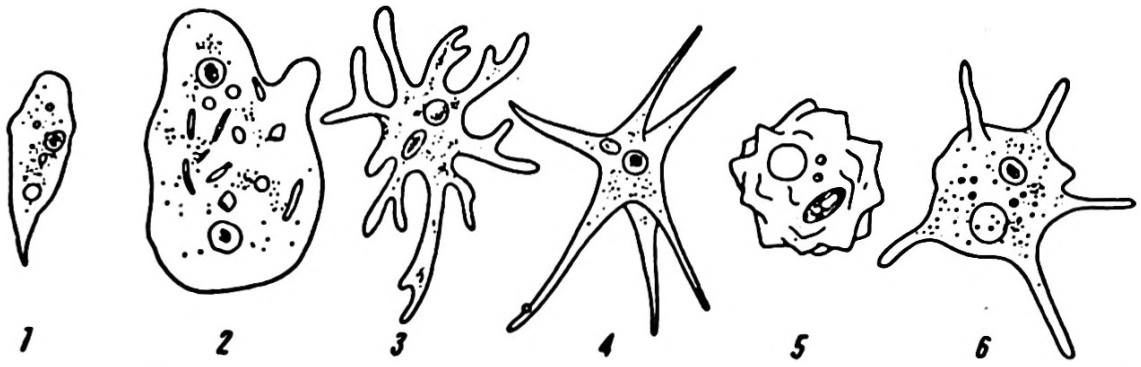


FIG. 150. Tipos de seudópodos en las amebas: 1, *Amoeba limax;* 2, *Pelomyxa binucleata;* 3, *A. proteus;* 4, *A. radiosa;* 5, *A. verrucosa;* 6, *A. polypodis.*

de su cuerpo semilíquido. Alrededor del fragmento nutritivo ingerido se forma una vacuola digestiva. Después de absorber todos los productos asimilables, los residuos no digeridos son expulsados al exterior por la misma vacuola. Las vacuolas pulsátiles, una o varias, se encargan de eliminar los productos del metabolismo y regular también la presión osmótica. Este tipo de vacuolas lo poseen solamente las amebas de agua dulce; las ame-

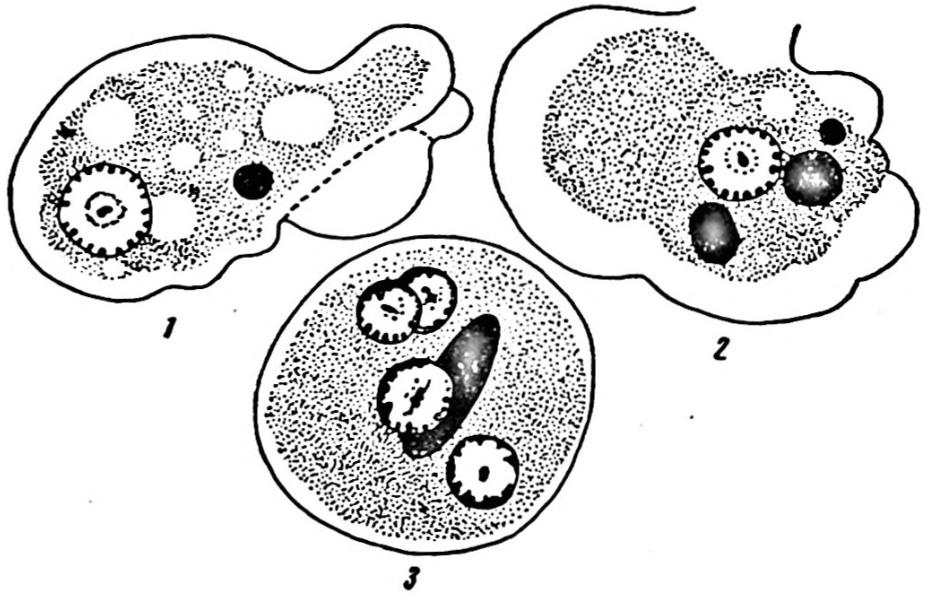


FIG. 151. *Entamoeba histolytica*: 1, 2, formas vegetativas; 3, quiste.

bas de agua marina y las parasitarias carecen de ellas. Se multiplican por bipartición. Es frecuente en ellas la formación de quistes.

Las amebas están muy extendidas en los ríos y lagos de agua dulce, donde aparece, por ejemplo, la de mayores dimensiones, la *Amoeba proteus* (200—700 μ). También se las encuentra en los mares, en los terrenos

húmedos, etc. Entre las amebas figuran muchas formas parásitas, unas que son patógenas y otras que no lo son. Sin embargo, debido, probablemente, a determinados cambios del medio ambiente, algunas de estas últimas pueden hacerse patógenas.

La *ameba de la disentería* (*Entamoeba histolytica*) es el agente vector de la "amebiasis" del hombre (disentería amebiana, abscesos amebianos del hígado, etc.). La descubrió por vez primera en el hombre el profesor de la Academia Médico-quirúrgica de San Petersburgo F. A. Lesh (1875). En el organismo humano la *Entamoeba histolytica* presenta tres formas: 1) *Entamoeba histolytica forma minuta,* vegetativa, pequeña, que se enquista y habita el intestino grueso; 2) la *Entamoeba histolytica forma magna,* vegetativa, de mayor tamaño y parásita de los tejidos; 3) los quistes formados de pequeñas amebas (fig. 151). El foco de infección del hombre pueden ser verduras contaminadas (procedentes de los huertos abonados con heces), productos alimenticios contaminados y el agua, junto con los cuales van a parar al intestino humano amebas enquistadas. En el intestino delgado se disuelven las envolturas de los quistes y de cada uno sale una ameba tetranuclear, que se divide en cuatro pequeñas. Las amebas se multiplican y pasan al intestino grueso, en cuya cavidad pueden permanecer durante mucho tiempo en estado de pequeñas formas comensales de *E. histolityca*

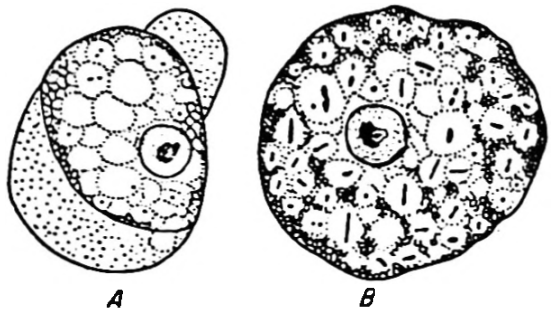


FIG. 152. Amiba intestinal (*Entamoeba coli*): *a*, con seudópodos anchos; *b*, con bacterias ingeridas.

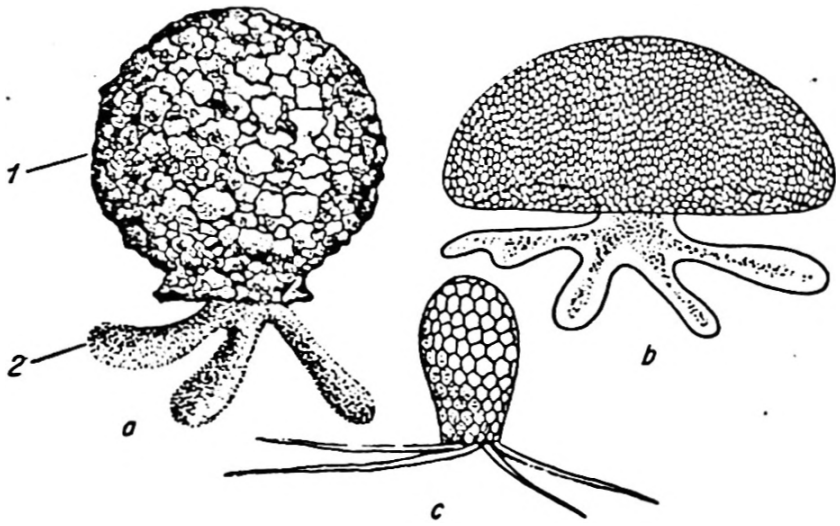


FIG. 153. Tecamebinos: *a, Difflugia*: 1, testa; 2, seudópodo; *b,* Arcella; *c, Euplypha alveolata.*

forma minuta. Después de algún tiempo comienzan a enquistarse y junto con las heces pueden ir a parar al medio exterior. Las personas que tienen quistes se llaman *portadoras de quistes.* Cuando a consecuencia de diversos factores desfavorables se debilita el organismo humano, la

E. histolytica forma minuta adquiere la capacidad de segregar un fermento proteolítico que disuelve las paredes del intestino; el protozoario penetra en la mucosa y pasa a la forma magna. La invasión origina úlceras, a veces muy profundas, que dan lugar a la perforación de los vasos sanguíneos y hemorragias intestinales. Al mismo tiempo, las amebas penetran en el sistema circulatorio. La enfermedad comienza generalmente con una diarrea sanguinolenta, y en los casos graves puede acarrear la muerte. A veces se presentan complicaciones en forma de abscesos hepáticos o en otros órganos a los que las amebas pueden ser arrastradas por la sangre.

La *Entamoeba histolytica forma magna* (cuyas dimensiones oscilan entre 20 y 40 μ) tiene gran movilidad. Se alimenta osmóticamente de eritrocitos, que aparecen de modo permanente en su protoplasma. Esto último tiene importancia para el diagnóstico, ya que permite diferenciarla de otras amebas intestinales no patógenas. Al cabo de algún tiempo, sale de las paredes y va a parar al conducto intestinal, disminuyendo de tamaño, *forma minuta* (hasta 15 μ), que va perdiendo paulatinamente su movilidad y se prepara a enquistarse. La aparición de estas formas es indicio de que el período agudo de la enfermedad va cediendo. Después tiene lugar el enquistamiento. Los quistes son eliminados del intestino del enfermo junto con las heces. Son de forma redondeada y poseen una envoltura delgada doble. Los quistes jóvenes son mononucleares, pero al poco tiempo el núcleo se fragmenta dos veces, con lo que el quiste adquiere la forma típica de la *Entamoeba histolytica,* con sus cuatro núcleos. Los quistes de la *Entamoeba histolytica* son muy estables. El ácido carbólico (fenol) es el que actúa sobre ellos con más energía: una solución de un 1 por ciento los destruye en media hora.

La disentería amebiana está difundida principalmente en los lugares de clima cálido, aunque también se presenta en las zonas templadas.

Pueden ser portadores de quistes los convalecientes de esta enfermedad, así como personas que no han experimentado abiertamente los síntomas del mal (portadores por contacto), ya que el hecho de haber ingerido un quiste no produce obligatoriamente la enfermedad. Son muchos los portadores de quistes; estas personas pueden eliminar en el transcurso de un día gran cantidad de ellos. La disentería pueden propagarla los insectos (moscas, cucarachas, hormigas), que llevan los quistes en las patas.

En la actualidad, existen numerosos métodos eficaces de curación, como es, por ejemplo, el empleo de la emetina combinada con la foretina, etcétera.

La *ameba intestinal (Entamoeba coli)* se ha descubierto en la mayoría de las personas sometidas a análisis. No es patógena y no penetra en los tejidos. Lo mismo que la ameba disentérica, puede tener dos formas vegetativas: la grande, *forma magna,* y la pequeña *forma minuta.*

El ectoplasma no se encuentra claramente separado del endoplasma. Este, que es granuloso, está vacuolizado y contiene bacterias, hongos, etc. ingeridos; solamente en contados casos aparecen eritrocitos (fig. 152). La *forma magna* es menos móvil que la de la disentérica y los quistes tienen una envoltura más resistente. Aunque la forma característica es el quiste octonuclear, los hay también de uno y dos núcleos. Además de las amebas arriba señaladas, hay otras muchas parásitas del hombre, que no le producen trastornos de consideración como son la *ameba enana (Endoli-*

max nana), la *ameba bucal (Entamoeba gingivalis)*, que se encuentra en los dientes cariados y es por su morfología semejante a la disentérica, etc.

Tecamébidos (Testacea). Tienen un núcleo y poseen cápsulas protectoras constituídas por una cámara con orificio a través del cual salen los seudópodos. La forma y la composición de las cápsulas varía según las amebas (fig. 153). Pueden estar formadas por sustancias quitinosas, gelatinosas, etc. Sin embargo, la mayoría de ellas lo están por el producto principal que elabora la ameba, mezclado con arenilla o impregnado de sales cálcicas. En el cuerpo de los tecamébidos se suelen distinguir tres zonas: la posterior, que está junto al vértice del animal, donde se encuentran el núcleo y las inclusiones; la zona central contiene las vacuolas digestivas y las contráctiles y, por último, la anterior, que se halla junto al orificio y está integrada por un protoplasma carente de inclusiones; es la zona donde se forman los seudópodos.

Los tecamébidos se reproducen por segmentación; cuando existe una cápsula blanda, ésta y el cuerpo de la ameba sufren un estrangulamiento en sentido transversal; si la cápsula es dura, después de la división del núcleo por cariocinesis, la mitad del plasma junto con el núcleo hijo sale del orificio y da lugar a una nueva testácea.

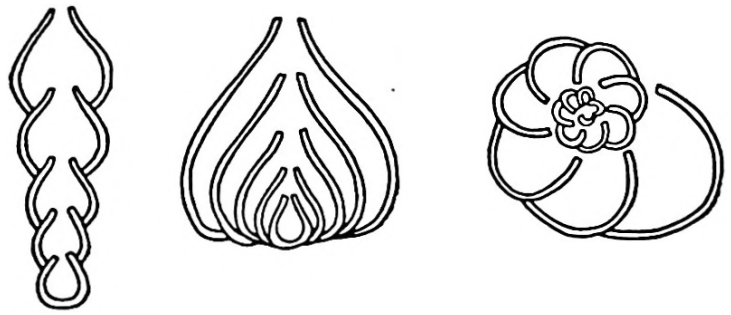


FIG. 154. Distintas formas de foraminíferos.

En algunas de estas amebas se observa una división múltiple. Cuando las condiciones son desfavorables, los tecamébidos se enquistan. Todos ellos viven sólo en agua dulce, en los pantanos, y en la vegetación húmeda.

Foraminíferos (Foraminifera). Este orden está representado por formas marinas con caparazón, que en la mayoría de los casos está constituído por numerosas cámaras. Los foraminíferos de una sola cámara suelen tener la forma de saco o de tubo ramificado. Los que constan de cavidades múltiples, se componen al principio de una cámara (embrionaria); después

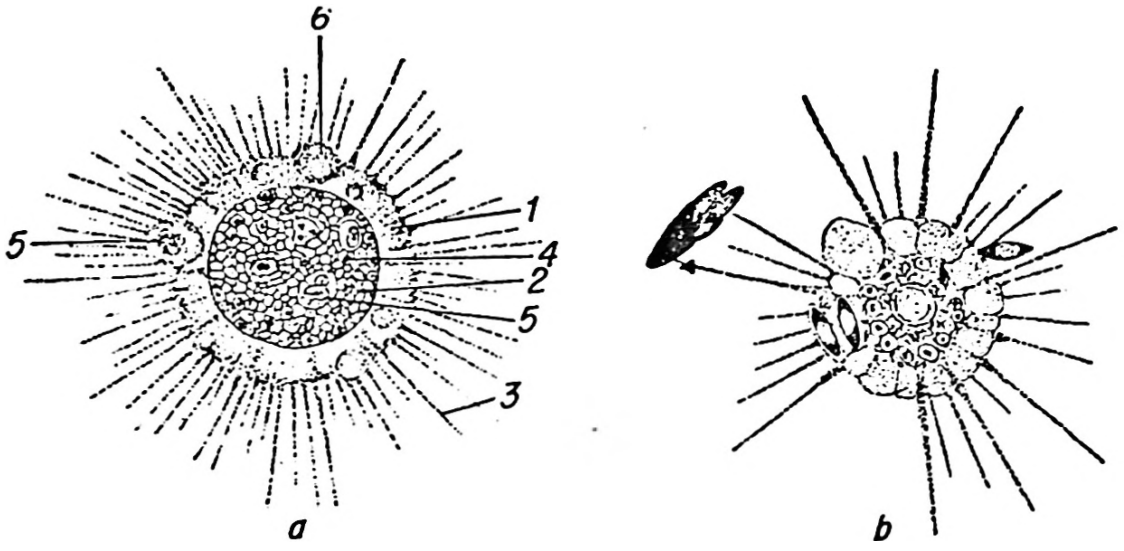


FIG. 155. Distintas formas de heliozoarios: *a*, *Ectinophaerium eichhornii*: 1, ectoplasma; 2, endoplasma; 3, seudópodos; 4, núcleos; 5, vacuolas digestivas; 6, vacuolas pulsátiles; *b*, *Actinophris sol*.

sale por el orificio parte del plasma, al que cubre una nueva cápssula, que da lugar a la segunda cámara. Esto se repite numerosas veces, hasta que resulta una concha integrada por varios cientos de cámaras unidas entre sí por orificios de comunicación (fig. 154). Los seudópodos salen por uno o varios orificios que hay en las

paredes del caparazón o concha. Los foraminíferos se reproducen alternando las generaciones sexuales y las ágamas (por ejemplo, la *Polystomella*). La mayoría son formas que viven en el agua del mar; durante los períodos geológicos, sus caparazones, que se disuelven con dificultad, se fueron acumulando en el fondo y dando lugar a enormes estratos de rocas calizas.

Los *Heliozoarios* (Heliozoa) habitan preferentemente los estanques y lagos de agua dulce y constituyen en la mayoría de los casos el plancton, que se halla en flotación en el agua. Los heliozoarios son rizópodos esféricos con seudópodos radiales (fig. 155), de forma permanente, debido a la presencia de filamentos esqueléticos resistentes. La reproducción es ágama (sexual, en algunos de los representantes) del tipo de la paidogamia (copulación de las células hijas divididas).

Radiolarios (Radiolaria). El carácter que distingue a este orden es la presencia de una cápsula central espesa, que rodea la parte profunda del cuerpo. El citoplasma de los radiolarios resulta dividido en una parte interior a la cápsula y otra exterior, que se comunican por un orificio (fig. 156). En la reproducción asexual tiene lugar también la división de la cápsula central y del esqueleto mineral. Los ejemplares nuevos reconstruyen después las partes que faltan.

En muchos radiolarios se observa también el proceso sexual. Son formas marinas, pelágicas.

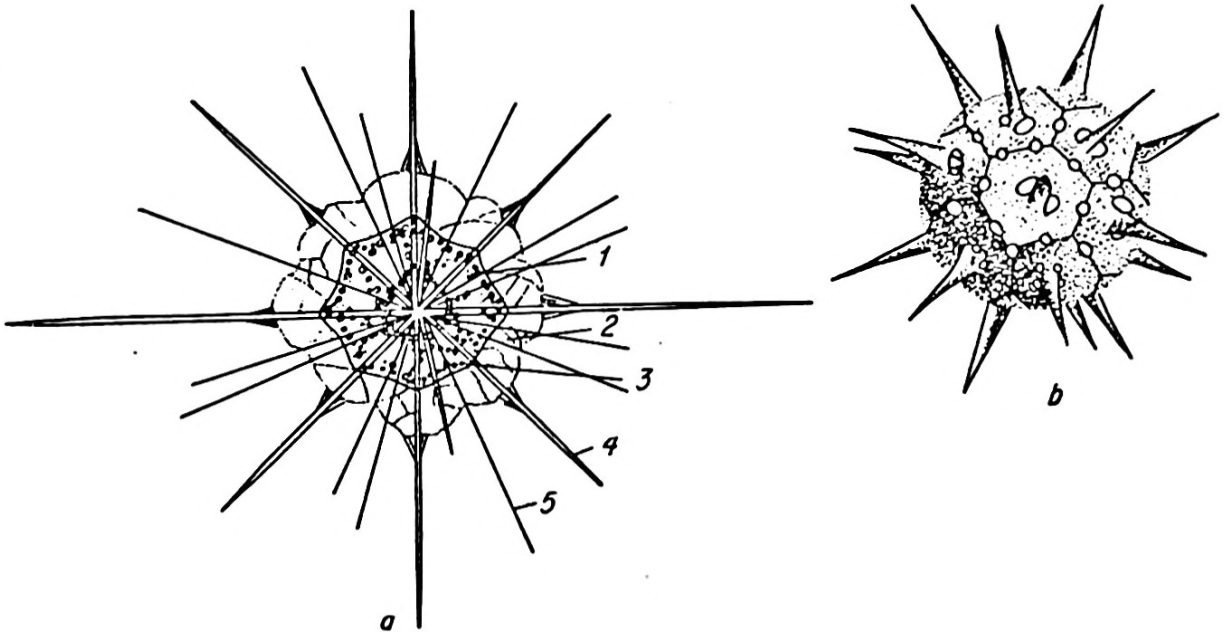


FIG. 156. Distintas formas de radiolarios: *a*, *Acanthometra elastica;* 1, cápsula central; 2, citoplasma extracapsular; 3, núcleo; 4, axones esqueléticos; 5, seudópodos; *b*, *Lithoptera elegans*.

Clase 3ª Esporozoarios (Sporozoa).

Pertenecen a esta clase únicamente protozoarios parásitos que se han adaptado a vivir en las cavidades del cuerpo dentro de las células (sangre, epitelio, etc.) humanas y de diferentes animales. A causa de su modo de vida parasitaria, la organización de los esporozoos se ha simplificado extraordinariamente: carecen de boca, faringe y vacuolas digestivas y pulsátiles. Por regla general, tampoco poseen orgánulos de movimiento. Se reproducen por procedimiento sexual o alternando éste con el ágamo. En la inmensa mayoría de los casos, en la reproducción se forman *esporas* (embriones, rodeados de una espesa envoltura), de donde proviene la denominación de la clase. Este rasgo característico suyo está también rela-

cionado con su régimen de vida parasitario, con la necesidad de permanecer temporalmente en el aire o el agua con motivo del cambio de huésped. Los representantes de esta clase (orden de los *esporozoarios de la*

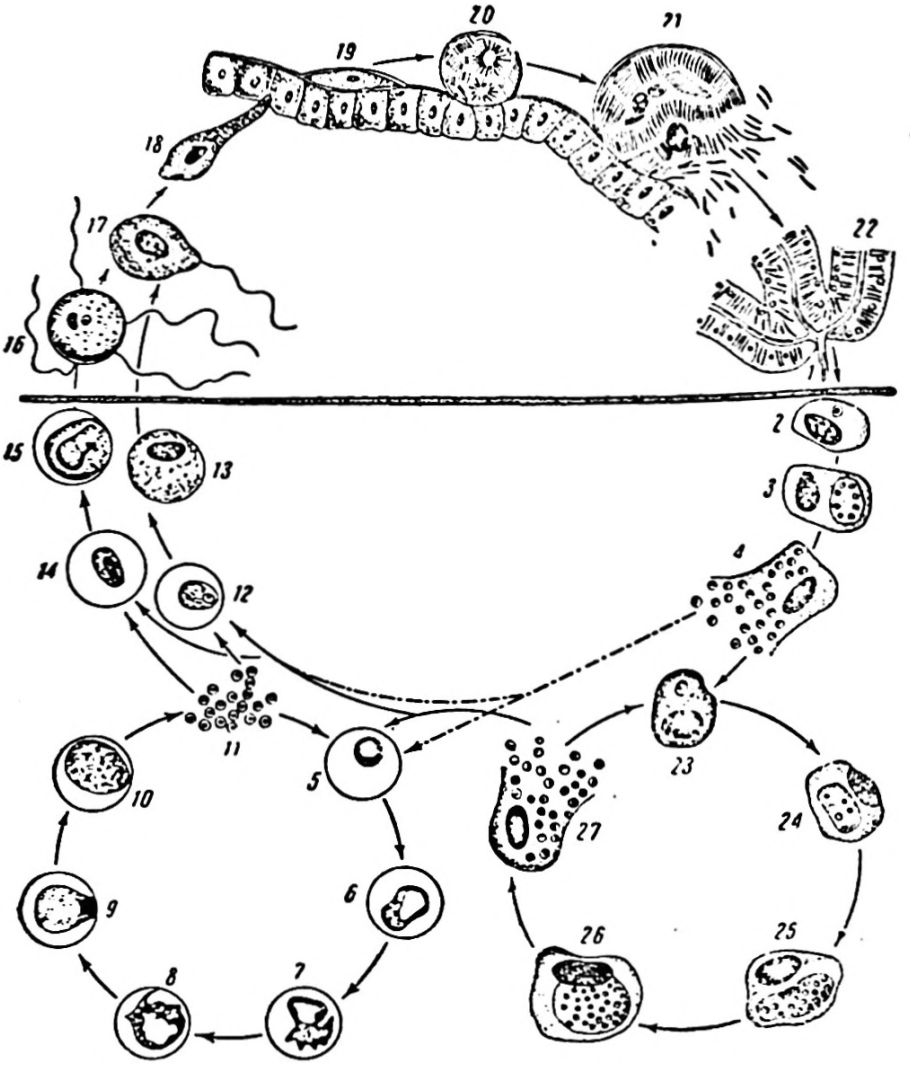


FIG. 157. Esquema del ciclo evolutivo del agente del paludismo. 1, esporozoito al salir del canal de la glándula salival; 2, 4, desarrollo del esporozoito en la célula del tejido (fases exoeritrocíticas); 4, formación de los merozoitos en los tejidos; 5-10, desarrollo de los parásitos en los eritrocitos (fases endoeritrocíticas); 11, esquizogania; 12 y 13, desarrollo del macrogametocito; 14 y 15, desarrollo del microgametocito; 16, formación de los microgametos; 17, penetración de los microgametos en el macrogameto (fecundación); 18, penetración de los oocinetos a través del tabique intestinal del mosquito; 19 y 20, desarrollo de los oocistos en la superficie del intestino del mosquito; 21, rotura del oocisto maduro y salida de los esporozoitos; 22, esporozoitos en la glándula salival del mosquito; 23-27, desarrollo de las generaciones sucesivas del parásito en las células de los tejidos. Las fases 2, 15 y 23, 27, en el hombre. Las fases 16-22, en el mosquito; 1-22 y las flechas de trazos corresponden al ciclo del *Plasmodium falciparum;* 1-27 y todas las flechas curvas de trazo continuo corresponden al ciclo del *Pl. vivax.*

sangre) que se desarrollan totalmente dentro del organismo del huésped y con tal motivo han perdido la capacidad de formar esporas, poseen otros dispositivos para propagarse: sus transmisores son los insectos hematófagos.

Desde el punto de vista práctico, los más importantes son los representantes del orden de los *hemosporidios*, es decir, esporozoarios de la sangre (Haemosporidia), que agrupa a minúsculos parásitos endocelulares, los cuales pasan parte de su ciclo vital en los glóbulos sanguíneos de diferentes animales.

Los hemosporidios son muy importantes en la patología humana. Los representantes del género *Plasmodium* son los agentes vectores del paludismo. Fue al biólogo ruso V. I. Afanásev (1879) a quien le cupo el honor de descubrir los parásitos palúdicos en el cuerpo humano.

D. L. Romanovski describió con exactitud el *Plasmodium malariae*, utilizando un nuevo método para colorear las preparaciones de sangre de las personas enfermas.

Las especies más extendidas de los plasmodios del paludismo son: el *Plasmodium vivax* (que produce las fiebres terciarias); el *Plasmodium malariae* (causante de las fiebres cuartanas); el *Plasmodium falciparum* (que origina las fiebres tropicales) y el *Plasmodium ovale*, que en la U. R. S. S. es raro. El ciclo vital de estos parásitos es bastante semejante

El ciclo de desarrollo del plasmodio del paludismo va acompañado de una alternancia de generaciones sexuales y asexuales (fig. 157). El desarrollo de la generación sexual se realiza en el organismo de un mosquito del género *Anopheles:* el asexual, en el cuerpo humano, es decir, que el hombre es el huésped intermedio de dicho plasmodio, y el mosquito, el principal.

El mosquito infectado inyecta al clavar su trompa —a la vez que la saliva— gran número de *esporozoitos semilunares* (pequeños individuos resultantes de una división múltiple y que sirven para que el parásito pase de un huésped a otro) en la sangre del hombre.

Los esporozoitos que han penetrado en la sangre se extienden por todo el cuerpo. En las células de los órganos internos (hígado, bazo, etc.) continúan desarrollándose y se multiplican. La reproducción es *esquizogónica* (división reiterada). El plasmodio, en la fase de preparación de la división múltiple se llama *esquizonte*, los ejemplares hijos que se forman son los *merozoitos*. Las formas que aparecen en las células de los tejidos tienen también un nombre especial, el de *criptozoitos*. En algunos parásitos maláricos *(Pl. vivax)*, los criptozoitos pueden volver a desarrollarse en los tejidos, originando *metacriptozoitos*. El desarrollo de los parásitos en las células de los tejidos constituye el ciclo *exoeritrocítico*.

Características de este período son la ausencia de parásitos en la sangre periférica y de síntomas latentes de la enfermedad. Su duración puede ser muy grande en algunas formas (*Plasmodium vivax* y *Plasmodium malariae*).

El período de incubación es de ocho días en el caso del *Plasmodium vivax*, y de seis en el *Plasmodium falciparum;* el período del *Plasmodium malariae* no se ha determinado exactamente.

Una vez desintegradas las células de los tejidos, los criptozoitos y metacriptozoitos pueden penetrar de forma activa en los eritrocitos, dando comienzo con ello al *período eritrocítico de desarrollo*, que en el *Plasmodium vivax* y en el *Plasmodium falciparum* es de cuarenta y ocho horas, y en el *Plasmodium malariae*, de setenta y dos horas.

Luego de penetrar en el eritrocito se forma en el esquizonte una vacuola, que empuja al plasma y al núcleo hacia la periferia, a consecuencia

de lo cual el plasmodio adquiere la forma de un dedal. Esta fase de desarrollo es la *fase anular*, y su duración es en el *Plasmodium vivax* de ocho a diez horas. El esquizonte, que se nutre intensamente, crece; la vacuola va desapareciendo poco a poco y en su cuerpo aparece un pigmento pardo (producto de la destrucción de la hemoglobina). En este período el parásito realiza intensos movimientos ameboides (de ahí el nombre de *vivax*, vivo). Esta fase constituye la del verdadero esquizonte: su duración oscila entre treinta y dos y treinta y cuatro horas en el caso del *Plasmodium vivax*. Después de alcanzar determinado tamaño, el esqui-

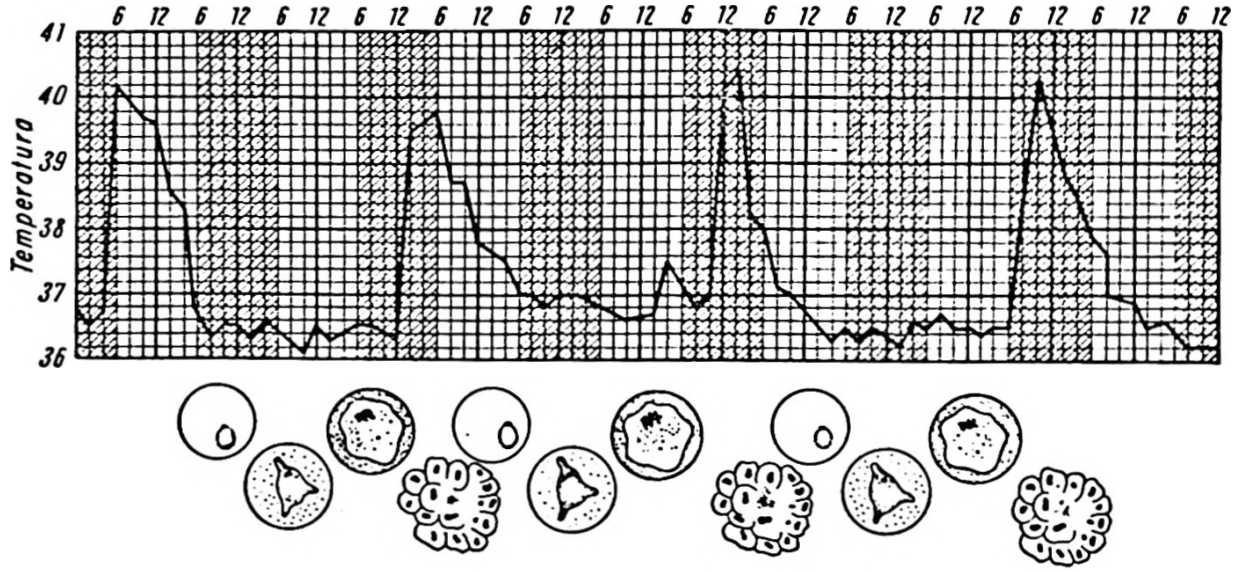


FIG. 158. Gráfico de la variación de temperatura en las fiebres tercianas. En la parte inferior, fases de desarrollo del *Plasmodium vivax* correspondientes a las diferentes temperaturas del enfermo.

zonte se redondea, interrumpe su movimiento y su núcleo se divide en 10 a 20 partes. A cada núcleo hijo lo envuelve un protoplasma y el esquizonte se descompone en merozoitos. El proceso de división termina en el *Plasmodium vivax* en el transcurso de seis a ocho horas.

La sucesión regular de los accesos febriles palúdicos está realacionada con la periodicidad del proceso de esquizogonia eritrocítica. El comienzo del acceso coincide con la destrucción de los eritrocitos y el paso de los merozoitos, de los productos de su actividad vital y también de los productos de descomposición de los glóbulos del plasma sanguíneo del enfermo. La temperatura se eleva notablemente (fig. 158). Cuando en la sangre del enfermo hay varias generaciones de esquizontes, de distintas edades, la frecuencia de los accesos depende de su diferencia de edad, ya que el proceso de esquizogonia de los diferentes grupos se realiza en diferentes períodos de tiempo.

Todas las formas de paludismo van acompañadas de anemia progresiva. Uno de los síntomas característicos de esta enfermedad es la inflamación del bazo. Para su curación se utilizan quinina, atebrina y otros cuerpos, que actúan sobre las formas eritrocíticas del plasmodio. A veces, el paludismo da recidivas, que se atribuyen a la insuficiente destrucción de las formas eritrocíticas (recidivas próximas) o a que las formas de los

tejidos, al conservarse, dan lugar a un nuevo ciclo eritrocítico (recidivas lejanas, en el *Plasmodium malariae* y en el *Plasmodium vivax).*

Después de una serie de esquizogonias, parte de los merozoitos da lugar a las formas sexuales: *macrogametocitos* y *microgametocitos.* Estas formas no tienen capacidad para reproducirse en el organismo humano y por eso no representan un peligro para el hombre, pero lo convierten en

FIG. 159. Ciclo evolutivo de un coccidio del género *Eimeria*: *a*, penetración del merozoito (o esporozoito) en las células epiteliales del huésped; *b*, *c*, desarrollo del trofozoito; *d*, *e*, *f*, esquizogonia y salida de los merozoitos, que vuelven a penetrar en las células del huésped (*a*, *k*, *g*); *h*, *i*, *j*, microgametocito (*h*) y formación de los microgametos; *l*, *m*, formación de lo microgametos; *n*, copulación de los gametos; *o*, oocisto; *p*, *q*, formación de los esporoblastos en el oocisto; *r*, formación de las esporas, con dos esporozoitos en cada una de ellas; *s*, salida de los esporozoitos de las esporas.

un portador del parásito, con el consiguiente peligro para quienes le rodean. Si un mosquito chupa su sangre, el plasmodio continuará desarrollándose, y por lo tanto el mosquito podrá contaminar a otras personas. En el estómago del mosquito los gametocitos se desprenden de los eritrocitos y se transforman en formas sexuales adultas. Cada microgametocito da lugar a varias células sexuales masculinas, *microgametos;* los macroga-

metocitos, por su parte, originan las células sexuales femeninas o *macrogametos*. Después de la fecundación se forma un zigoto de gran movilidad, que se llama *oocineto*. Gracias a su movimiento, el oocineto pasa de la cavidad estomacal del mosquito a la envoltura del estómago del animal, donde se redondea y se cubre de una cápsula elástica. Esta fase se denomina del *ooquiste* o *pseudoquiste*, que es capaz de alimentarse y reproducirse. El ooquiste crece rápidamente y en él se produce la división de los núcleos, cuyo número aumenta hasta llegar a varios miles. Los núcleos van envueltos por un protoplasma. Poco a poco, el contenido del ooquiste se desintegra en gran cantidad de *esporozoitos*. Al proceso de formación de los esporozoitos se le da el nombre de *esporogonia*. El ooquiste se transforma en *esporocisto*, que después se rompe, yendo a parar los esporozoitos a las diferentes cavidades del cuerpo del mosquito, para luego acumularse en sus glándulas salivales. El ciclo de desarrollo del plasmodio en el mosquito dura de diez a catorce días. Cuando el mosquito contaminado chupa la sangre de una persona sana, el ciclo de desarrollo comienza de nuevo.

El paludismo es muy común en los países de clima cálido, aunque también se presenta en las zonas templadas. Su extensión está relacionada con la propagación del *Anopheles*. En este sentido lo decisivo es la temperatura del medio ambiente. El mínimo es de 16°. Con temperaturas inferiores los mosquitos no se contaminan y en los que ya lo están se interrumpe el desarrollo del ooquiste.

La lucha antipalúdica se basa en un complejo sistema de medidas estatales, que se llevan a cabo en el foco de infección (localización y cura de los enfermos y de los portadores de parásitos), lucha con el transmisor (saneamiento de los embalses y pantanos, destrucción de los mosquitos adultos, etc.) y protección de las personas contra la picadura de los mosquitos.

La Unión Soviética ocupa el primer lugar en el mundo en cuanto a las medidas antipalúdicas. Posee una amplia red de estaciones antimaláricas, muchos millones de hectáreas de superficie acuática y pantanosa desinfectadas por medio de aviones y se desecan otros terrenos pantanosos en enormes extensiones. El paludismo ha desaparecido como enfermedad masiva. Por ejemplo, la costa del Mar Negro (Abjasia), que era antes un foco muy intenso, donde la mitad de la población se veía atacada por el paludismo, es actualmente uno de los más renombrados balnearios de la Unión Soviética.

Coccidios (Coccidia). Al orden de los coccidios pertenecen ciertos parásitos intracelulares, que se hospedan principalmnete en las células epiteliales del intestino, el hígado y otros órganos de los vertebrados y los invertebrados. El ciclo de desarrollo de los coccidios es, en líneas generales, semejante al del plasmodio del paludismo. Sin embargo, en la inmensa mayoría de los coccidios no tiene lugar el cambio de huésped: las generaciones asexuales y sexuales se desarrollan en el mismo animal (fig. 159). Los ooquistes que se originan por la reproducción anfigónica están cubiertos de envolturas resistentes y son expulsados al exterior con las heces. Continúan su desarrollo en el medio exterior: en el ooquiste se forman esporas con esporozoitos en su interior.

El animal se contagia al ingerir los ooquistes con esporozoitos. En el intestino, después de la acción del jugo gástrico, quedan libres los esporozoitos, que se introducen en las células epiteliales, donde comienzan nuevamente la reproducción ágama. Los coccidios se multiplican con extraordinaria rapidez, destruyendo las células del huésped. Son un gran peligro para

el animal contagiado. Atacan con frecuencia a los conejos de monte y domésticos, parasitando principalmente el epitelio intestinal. A veces, los coccidios dan lugar a graves enfermedades, que causan terribles mortandades entre estos animales. También se han encontrado coccidios en el hombre, pero aún no se han estudiado lo suficiente. Al parecer, dan lugar a trastornos intestinales

Gregarinas (Gregarina).

Los esporozoarios de este orden son formas parásitas no patógenas de invertebrados. A diferencia de los hemosporidios y los coccidios, las formas adultas no son parásitos intracelulares, sino que parasitan las cavidades del cuerpo o del intestino. Cuando son

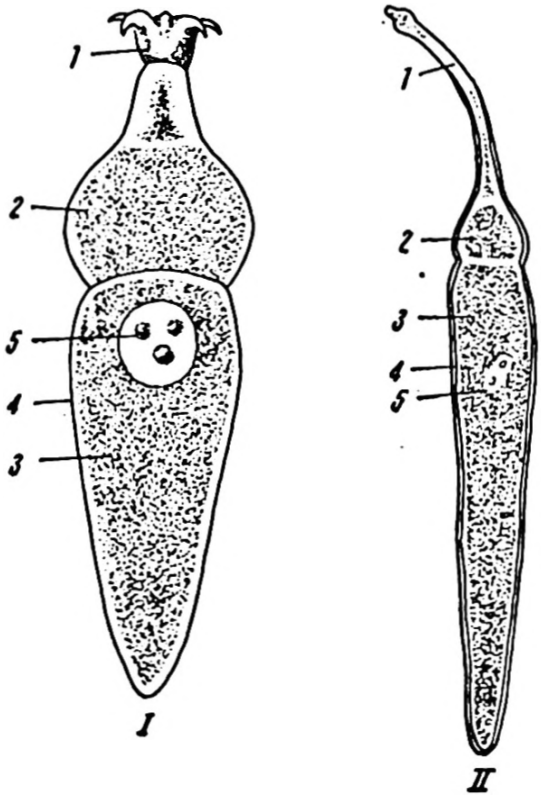


FIG. 160. Distintas formas de gregarinas: I, *Corycella armata*. II, *Stylocephalis longicolis*. 1, epimerito; 2, protomerito; 3, deutomerito; 4, cutícula; 5, núcleo.

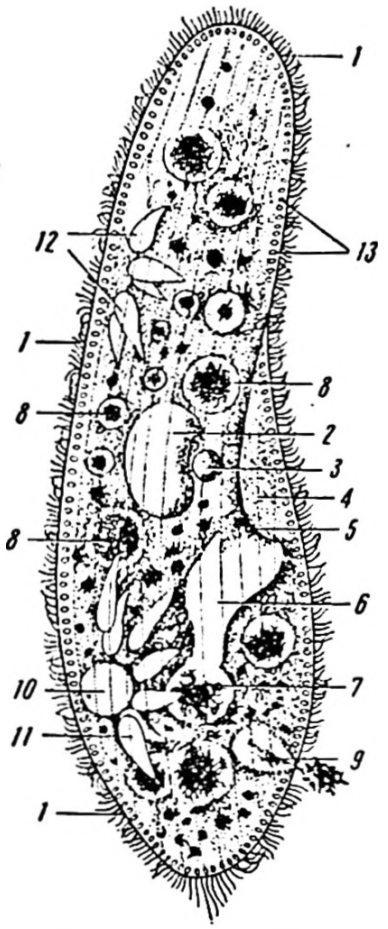


FIG. 161. Infusorio (*Paramaecium caudatum*): 1, cilios; 2, macronúcleo; 3, micronúcleo; 4, peristoma; 5, citostoma o boca; 6, citofaringe; 7, formación de las vacuolas digestivas; 8, vacuolas digestivas; 9, defecación; 10, depósito de la vacuola contráctil; 11 y 12, canales de las vacuolas contráctiles, 13, tricocistos.

jóvenes, algunas gregarinas penetran en las células o se adhieren a ellas. Su organización es más complicada que la de los hemosporidios y los coccidios, y están más especializadas (fig. 160). El cuerpo de la mayoría de las gregarinas está dividido por estrangulaciones en tres partes: la anterior, la media y la posterior. En ésta última se halla el núcleo, esférico. El protoplasma está diferenciado en un ectoplasma homogéneo y

un endoplasma granuloso. Muchos de estos esporozoarios poseen un aparato especial para adherirse a las células del huésped. Se mueven mediante la contracción de unas fibrillas musculares o, a semejanza de los cohetes, por reacción al expulsar una mucosidad. La mayoría de las gregarinas se reproducen únicamente por procedimiento sexual, aunque en algunas se presenta también la reproducción ágama.

SUBTIPO II. CILIOFOROS O INFUSORIOS (CILIOPHORA)

Los protozoarios del subtipo de los cilióforos tienen como orgánulos del movimiento pequeño scilios, o membranitas de mayor tamaño constituídas por cilios aglutinados. Los cilios duran toda la vida o solamente existen en la fase juvenil del desarrollo. Se diferencian también de todos los demás protozoarios por la estructura del aparato nuclear: tienen núcleos diferenciados.

Clase 1ª Infusorios ciliados (Ciliata).

La clase de los infusorios ciliados corresponde a la de los organismos más evolucionados entre los Protozoos; se agrupan en ella muchas especies de protozoarios (más de 3,000). Los infusorios se caracterizan por su estructura compleja, por la presencia de una membrana gruesa y, frecuentemente, también por formaciones esqueléticas que dan al cuerpo una forma fija. Muchos de ellos poseen fibrillas musculares (*mionemas*) y un *peristoma*, que constituye el aparato bucal. Los ciliados conservan durante toda su vida orgánulos de movimiento diferenciados, los cilios, que son prolongaciones protoplasmáticas de escasa longitud, constituídas por pequeñas fibrillas aisladas que se mueven al unísono en una dirección determinada. En algunos infusorios los cilios se agrupan, dando lugar a orgánulos de movimiento más complicados (láminas, cirrosis, barbas, etc.).

Los infusorios poseen un aparato nuclear complicado, que consta (salvo raras excepciones) de uno o varios núcleos de gran tamaño (*macronúcleos*) y uno o varios muy pequeños (*micronúcleos*). El macronúcleo, que constituye el llamado núcleo somático o vegetativo, está íntimamente relacionado con el proceso de metabolismo y con el movimiento. El micronúcleo es el núcleo germinativo, que desempeña el papel principal en el proceso sexual.

Los infusorios se reproducen asexual y sexualmente. En la división y en la gemación el micronúcleo se divide por mitosis, mientras que el macronúcleo lo hace amitósicamente. Lo característico de la reproducción sexual de los infusorios es la *conjugación*, es decir, la unión temporal de dos individuos en la que se intercambian porciones de su aparato nuclear junto con cierta cantidad de protoplasma, después de lo cual los individuos pasan a reproducirse por división. En condiciones desfavorables, muchos infusorios se enquistan.

La forma de los ciliados es variada; muchos de ellos, a consecuencia de su vida natatoria, tienen el cuerpo alargado, como le sucede al *Paramaecium caudatum* (fig. 161), que vive libre. Una membrana elástica le permite modificar dentro de ciertos límites la forma del cuerpo, contraerse; los cilios cubren su cuerpo uniformemente. El ectoplasma del *Paramaecium* es, al igual que en otros muchos infusorios, muy complicado: en él se ha-

llan los *tricocitos*, orgánulos de ataque y defensa, de estructura compleja, que ha sido descubierta con ayuda del microscopio electrónico. Por influjo de una excitación, los tricocitos son proyectados al exterior en forma de

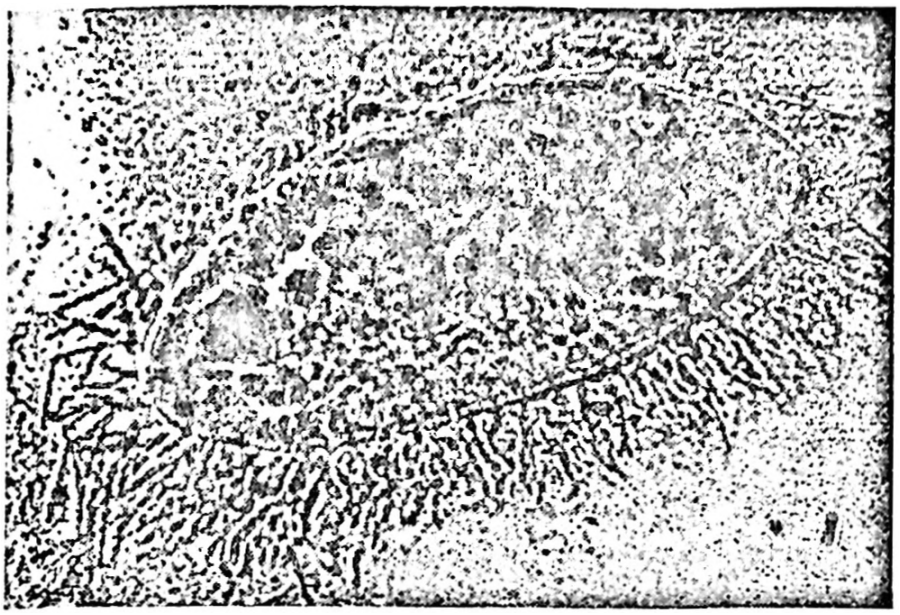


FIG. 162. Infusorio (*Paramaecium caudatum*) después de haber proyectado los tricocitos.

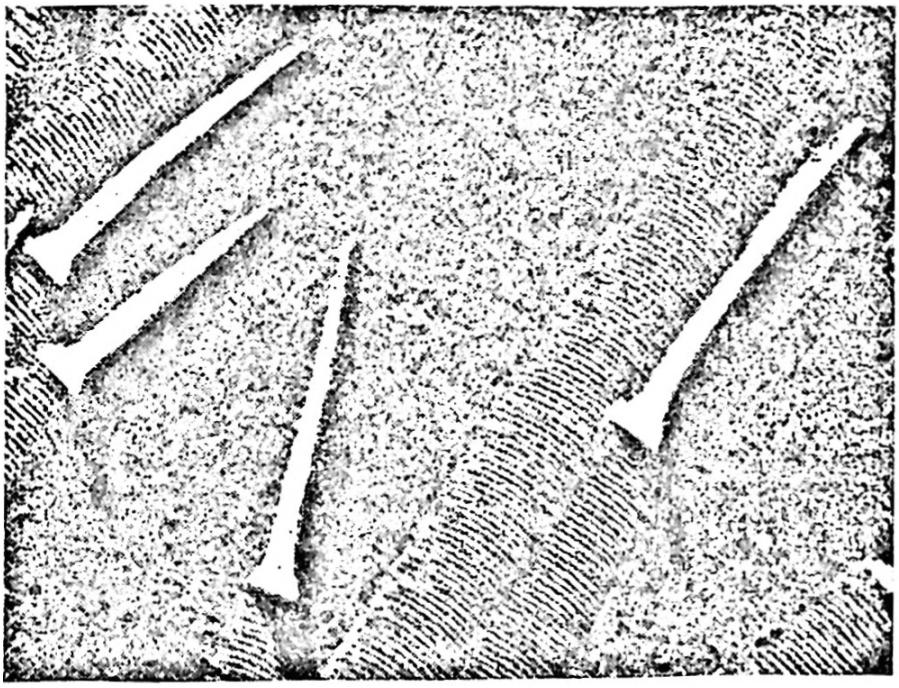


FIG. 163. Parte extrema de los tricocitos (la fotografía se ha obtenido con microscopio electrónico).

hilos (figs. 162 y 163). En el protoplasma hay unos delgadísimos filamentos, que se considera son los transmisores de las excitaciones, y también todo un sistema de elementos contráctiles, los *mionemas*.

En el endoplasma se encuentran las vacuolas digestivas y excretoras. Hay un orificio bucal, el *citostoma*, situado en el fondo de un surco, el *peristoma*, que está rodeado de cilios, los cuales, al moverse, producen corrientes de agua que hacen penetrar en la boca las partículas alimenticias. La boca termina en un embudo, la *citofaringe*, o canal estrecho recubierto de cilios.

Cuando las partículas nutritivas penetran en el endoplasma se forma a su alrededor una vacuola digestiva, que realiza dentro del cuerpo del infusorio un determinado recorrido. Los restos de la comida no digeridos son expelidos al exterior por el *ano*. El papel de orgánulos de excreción lo desempeñan las vacuolas contráctiles, de complicada estructura, que están ligadas a un sistema de canales, distribuídos por el endoplasma. Es necesario señalar que los infusorios marinos carecen de vacuolas contráctiles, puesto que el objetivo principal de éstas en todos los protozoarios consiste en mantener una presión osmótica determinada, mediante la expulsión fuera del cuerpo del agua sobrante que se infiltra en el protoplasma.

El aparato nuclear del *Paramaecium* consta de un macronúcleo y un

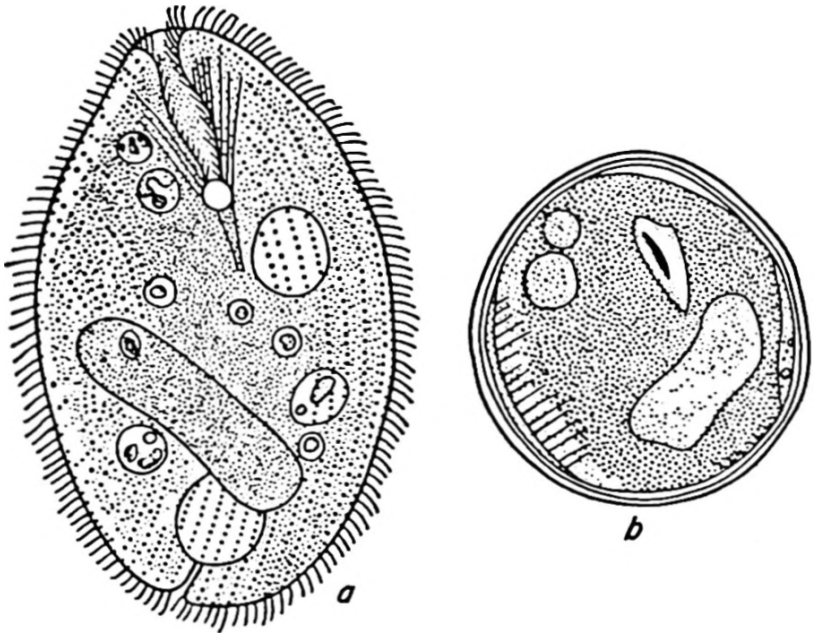


FIG. 164. *Balantidium coli*: *a*, individuo en estado vegetativo; *b*, quiste.

micronúcleo. La reproducción ágama, que dura varias generaciones, se alterna periódicamente con la sexual.

Entre los infusorios ciliados se encuentra la familia de las *opalinas*, que se distinguen por la ausencia de dimorfismo nuclear y poseen dos o numerosos núcleos iguales. Casi todas ellas son parásitos de los anfibios.

Los ciliados parásitos viven en el intestino de numerosos vertebrados; entre ellos el único parásito del hombre es el *balantidium* (*Balantidium coli*) (fig. 164), que constituye el mayor protozoario que parasita al hombre; alcanza 70 μ. El extremo anterior de este infusorio es puntiagudo, tiene el cuerpo cubierto de cilios en filas longitudinales, lo que da al infusorio aspecto barbudo. Se compone de citostoma, faringe, y de un poro

anal, el *citoprocto*, en la parte posterior del cuerpo. Posee dos núcleos y dos vacuolas contráctiles.

El *Balantidium* parasita el intestino grueso y, a veces, la parte inferior del delgado. Se reproduce por división transversal. Produce quistes, cuyo diámetro llega a alcanzar de 50 a 60 μ. Al parasitar el intestino, puede llegar a penetrar en sus paredes e infiltrarse por entre las células de la mucosa, cuyos fermentos disuelve, lo que produce úlceras, que llegan a ser de gran tamaño. Los síntomas de la enfermedad consisten en diarreas, que en los casos graves recuerdan la disentería amebiana. Pueden también producirse disenterías crónicas o colitis.

La balantidiosis termina a menudo con la muerte. La infección es ocasionada al ingerir quistes junto con la comida o bebida. La profilaxis se reduce a observar las reglas higiénicas corrientes. El foco de infección en el hombre lo constituyen, al parecer, los cerdos, que pueden contaminar las aguas y el suelo con los quistes que se encuentran en sus intestinos.

Clase 2ª Infusorios suctorios o tentaculíferos (Suctoria).

Son en su mayoría formas fijas, que se adhieren al substrato, frecuentemente a los tegumentos de los animales. En estado adulto carecen de cilios. Se alimentan mediante tentáculos chupadores, que son prolongaciones protoplasmáticas huecas. Se nutren en lo fundamental de ciliados, es decir, que se trata de seres parásitos o predatores.

Respecto a cuáles de los Protozoarios actuales deben ser considerados como los más primitivos no hay uniformidad de opiniones. Algunos opinan que los más antiguos son los sarcodarios, ya que su organización es la más simple (forma variable del cuerpo, ausencia de orgánulos de movimiento permanente, etc.). Por otra parte, la capacidad fotosintética de los mastigóforos verdes los aproxima a los organismos vegetales; en esto se apoyan numerosos zoólogos para afirmar que los protozoarios primitivos deberían ser los flagelados autótrofos. La capacidad para realizar una nutrición mixótrofa se considera como el paso de la fotosíntesis a la nutrición heterótrofa.

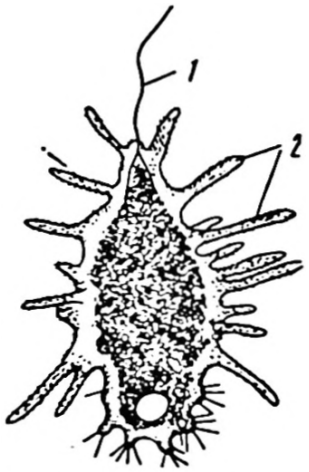


FIG. 165. *Mastigamoeba asperas* 1, flagelo; 2, seudópodos.

Sin embargo, el proceso de la fotosíntesis es extraordinariamente complicado; resulta difícil considerarlo como el modo más antiguo de alimentación y exige una organización compleja. Según opinión del académico A. I. Oparin, primero surgieron las sustancias orgánicas complejas y después los organismos primitivos que se alimentaban por ósmosis, es decir, que el modo más antiguo de nutrición sería la saprofítica. De aquí se deduce que los flagelados deben ser el producto de una larga evolución. Es de interés señalar que entre los mastigóforos hay formas de transición, que poseen flagelos y seudópodos; una de ellas es la *Mastigamoeba* (fig. 165). Además, algunos sarcodarios presentan flagelos en determinados períodos de su ciclo vital (los gametos de los foraminíferos). Semejantes hechos demuestran el parentesco existente entre estas dos clases. Deberemos admitir que ciertos precursores de los actuales mastigóforos constituyen la raíz de la que proceden todos los demás protozoarios. La evolución

de los infusorios se realizó a través de una complicación en su organización; probablemente, este grupo se separó hace mucho de los flagelados. La mayoría de los zoólogos opina que la clase de los esporozoarios representa un grupo sistemático artificial, al tener un origen doble (los flagelados y los sarcodarios) y es un claro ejemplo de adaptación al modo de vida parasitaria.

METAZOARIOS (METAZOA)

Los metazoarios son seres pluricelulares. Las células que integran su cuerpo están diferenciadas en distintos sentidos, constituyendo órganos que realizan funciones diferentes o sistemas completos de órganos, que están relacionados a través de todo el organismo, en aquellos casos en que la organización es más complicada.

La evolución de los metazoarios ha desarrollado en ellos diferentes formas de simetría. Según ésta, los animales pluricelulares se dividen en: 1) de simetría radial *(Radiata)* y 2) de simetría bilateral *(Bilateralia)*.

Los animales de simetría radial poseen varios planos de simetría y los órganos dispuestos en forma radial alrededor del eje principal. Están formados por *dos hojas embrionarias*, el ectodermo y el endodermo; la tercera hoja se halla únicamente en estado embrionario. Forman parte de ellos dos tipos: los espongiarios y los celentéreos.

Los animales de simetría bilateral poseen esta clase de simetría muy acusada. Los tejidos y órganos de estos seres se desarrollan en el proceso de la ontogénesis a partir de tres hojas embrionarias, el ectodermo, el endodermo y el mesodermo, es decir, que son animales constituídos *por tres hojas*.

Los bilaterales se dividen en dos grupos: *de boca primaria* y *de boca secundaria*. Las diferencias entre estos dos grupos radican principalmente en las características de su desarrollo embrionario.

En los no celomados, el blastoporo de la cavidad primaria del embrión funciona como boca definitiva del animal adulto. Pertenecen a este grupo los gusanos, los artrópodos y los moluscos.

En los celomados, el blastoporo se transforma en el orificio anal del animal adulto y la boca aparece al romperse por segunda vez las paredes del cuerpo del embrión. Pertenecen a los celomados los equinodermos y los cordados.

Origen de la pluralidad celular.

Es indudable que los organismos pluricelulares proceden de los unicelulares. También está claro que el grupo que dio origen a los Metazoarios son los Flagelados. La cuestión de cómo se realizó el paso de la organización unicelular a la pluricelular encuentra diversas explicaciones. Existen distintas teorías, aunque en su mayoría tratan de problemas parciales y no encuentran la confirmación necesaria. Son dignas de atención las teorías que se basan en los datos del desarrollo embrionario (repetición en la ontogénesis de las leyes filogenéticas).

E. Haeckel (1874) es el autor de la conocida teoría de las gástreas. De acuerdo con ella, el antecesor de los metazoos fue una colonia esférica de protozoarios del tipo *Volvox*, muy semejante a la fase embrionaria de

los metazoarios llamada blástula. Los primeros metazoarios surgieron de semejantes colonias mediante la penetración de una mitad de la esfera en la otra mitad, de modo semejante a como se realiza el proceso de gastrulación en algunas formas, es decir, por medio de una invaginación. Así apareció el primer organismo pluricelular, constituido por dos hojas, con un orificio bucal y un intestino primario. A este antecesor hipotético de todos los Metazoos lo llamó Haeckel *gástrea,* por analogía con la fase ontogenética de la gástrula. Entre los organismos actuales corresponden a la gástrea los pluricelulares inferiores (esponjas, hidras, etc.)

La teoría de las gástreas, que alcanzó gran predicamento, fue objeto de profundas críticas.

I. I. Méchnikov demostró la equivocación de Haeckel: en primer lugar, la formación de la gástrula por invaginación es muy rara en el reino animal; además, y esto es muy importante, la gastrulación por invaginación no se presenta en los más primitivos animales pluricelulares actuales; en segundo lugar, la digestión realizada en el seno de una cavidad, que según Haeckel es una forma primaria, corresponde en realidad a un período posterior, mientras que la primitiva es la digestión intracelular.

Méchnikov expuso su propia teoría sobre el origen de la pluralidad celular. Partió del hecho de que en los metazoarios inferiores actuales la gastrulación se realiza mediante la migración de células aisladas, desde las paredes de la blástula al blostocele, formándose una masa floja de células en el interior. Méchnikov enunció las hipótesis de que el antecesor de todos los metazoos es el *parenquimelo* o, de otra manera, el *fagocitelo,* surgido, de modo semejante, de la colonia esférica, de protozoarios. Méchnikov veía en este proceso la explicación del fenómeno. Según él, los antecesores más antiguos de los metazoarios comenzaron a diferenciar las funciones; parte de los seres que integraban la colonia se especializaron en la captura de alimentos y en realizar los movimientos necesarios, mientras que otra parte se dedicó a digerir aquéllos (el nombre de "fagocitelo" subraya la importancia de la función de captura y digestión de alimentos). Las primeras funciones serían propias de la capa exterior de células, el *ciblasto;* las segundas, propias de la masa celular interior, el *fagocitoblasto.* Para las colonias móviles ofrecería cierta ventaja el hecho de que los individuos cargados de partículas nutritivas, más pesados por lo tanto, no se quedasen en la periferia, sino que se moviesen hacia el centro, con lo que se habrían de encontrar en condiciones que les permitieran cumplir su cometido a la mayor perfección. Al principio, los individuos de la colonia se diferenciaban sólo numéricamente; sin embargo, su distinción en el sentido señalado fue poco a poco alcanzando mayor grado; las células locomotoras fueron perdiendo más o menos la función de captura de alimentos, que se concentró en los fagocitos ameboideos, los cuales constituían la masa interna. De este modo, de una colonia (convivencia de individuos aislados que conservan su individualidad) surgió un organismo pluricelular único, con diferenciación de funciones entre sus partes.

Los primeros animales pluricelulares estaban formados por dos hojas, el ectodermo y el endodermo. El intestino se formó más tarde en el endodermo y la digestión intracelular fue sustituída por la extracelular, realizada en cavidades.

La teoría de Méchnikov la confirman los datos de la Embriología comparada, la Anatomía comparada y la Fisiología.

En los últimos tiempos, A. A. Zavarzín y A. A. Zajvatkin han continuado desarrollando las ideas de Méchnikov.

La conclusión fundamental a que llega Zajvatkin, apoyándose en los nuevos datos que brindan la Protozoología y la Embriología, es que existe una unidad de organización entre las células individuales de los metazoarios inferiores y un protozoo unicelular aislado.

Las células del cuerpo de los Metazoarios inferiores se caracterizan por la presencia de dos fases, una no diferenciada (ameboide) y otra diferenciada (flagelada). Estos dos tipos de organización de las células corresponden a los dos tipos fundamentales de organización unicelular de los protozoarios. Tal unidad de organización celular se descubre en los estados transitorios ameboide-flagelado de las células endodérmicas de los cnidarios y las esponjas.

Algunos tipos celulares de metazoarios inferiores casi no se distinguen de los protomonadinos (diminutos mastigóforos incoloros de la familia de los coanoflagelados que se caracterizan por la presencia de un ancho embudo plasmático gelatinoso que rodea la base del flagelo). Estos flagelados se hallan muy próximos a las células del endodermo de los espongiarios. De aquí se deduce que entre los protomonadinos y los metazoarios inferiores existe una relación filogenética.

Los metazoarios superiores también poseen ciertos rasgos característicos de los protomonadinos, que aparecen en las células epiteliales flageladas, en los espermatozoos, etc. En el proceso de la ontogénesis todos los pluricelulares pasan por la fase de una célula. Los óvulos y los espermatozoos de los metazoarios corresponden a los macrogametos y microgametos de los protozoarios.

Los animales pluricelulares inferiores atraviesan en las etapas iniciales de su desarrollo individual por diferentes fases que corresponden a los grados filogenéticos (desde el protozoo unicelular para llegar, a través de la colonia, al organismo pluricelular). Las fases fundamentales son: 1) la fase protozoide, representada por el huevo unicelular; 2) el grado de "integración lábil", que corresponde a las primeras fases de segmentación, cuando todos los blastómeros son iguales; 3) la fase de integración estable e irreversible, en que las etapas de aumento cuantitativo se transforman en cambios cualitativos, desarrollándose a continuación, a partir de los blastómeros diferenciados, las larvas del animal.

ANIMALES DE SIMETRIA RADIAL (RADIATA)

TIPO II. ESPONGIARIOS (SPONGIA)

Los espongiarios constituyen las formas más primitivas de metazoarios. Son organismos sedentarios, generalmente marinos, a veces dulceacuícolas, que viven aislados o en colonias. Sus dimensiones, muy variables, pueden oscilar entre varios milímetros y 1,5 m.

Es característica de los espongiarios la forma de saco o de copa de su cuerpo; la base la tienen adherida a algún otro cuerpo; en el extremo superior opuesto se halla un orificio exhalante, el *ósculo*.

Los espongiarios que constituyen colonias tienen con frecuencia el cuerpo de forma irregular, con lo que se altera su simetría radial. Las paredes del cuerpo de estos metazoarios están atravesadas por poros que comunican con la cavidad interior (cloaca o atrio). El cuerpo lo constituyen dos capas: el *ectodermo*, que corresponde a la exterior, y el *endoder-*

mo, a la interior. Entre ellos se encuentra otra capa de materia no estructurada, la *mesoglea*. El ectodermo está formado por un epitelio plano. El endodermo reviste la cavidad interior y está integrado por unas células características, los *coanocitos* (fig. 166), semejantes a las de los coanoflagelados. Los coanocitos son cilíndricos y poseen un flagelo que sale del centro del extremo libre de la célula; la base de este flagelo está rodeada por un embudo gelatinoso protoplasmático. El movimiento de los flagelos de los coanocitos origina corrientes de agua; ésta penetra a través de los poros en la cloaca, para salir después por el ósculo. Durante este movimiento los coanocitos se apoderan de las partículas nutritivas que se hallan en suspensión en el agua, digiriéndolas. El agua aporta el oxígeno necesario y se lleva los productos del metabolismo. Entre los metozoarios sólo las esponjas poseen coanocitos.

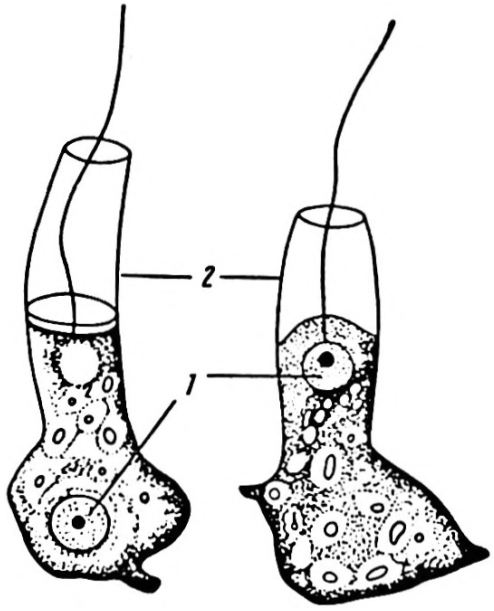


FIG. 166. Coanocitos de los espongiarios: 1, núcleo; 2, collar plasmático hialino.

En los protozoarios, semejante estructura la tiene únicamente un grupo de la clase de los flagelados, los *Choanoflagellata*.

En la mesoglea se encuentran incluídos los elementos esqueléticos de los espongiarios, y en ella se forman las células sexuales y otras partes integrantes del animal. La mayoría de las esponjas poseen esqueleto, el cual está constituído frecuentemente por las *espículas*, que son elementos aislados, de configuración variada, compuestos de cal o sílice. Algunas esponjas tienen el esqueleto formado por un producto orgánico, la *espongina*.

La estructura de los espongiarios, que hemos descrito, corresponde al tipo *Ascon* (figura 167). Sin embargo, la mayoría de las esponjas son así únicamente en las fases tempranas de desarrollo; después su estructura se hace más compleja y pasan al tipo *Sycon*, o a otra forma aún más complicada, el tipo *Leucon*. Estos nombres no son términos sistemáticos, y sirven únicamente para denominar un grado diferente de complejidad estructural.

Este grado de complejidad depende del mayor espesor de la masoglea y del desplazamiento al interior del endodermo, el cual reviste los canales flagelados (*Sycon*) o las cámaras flageladas (*Leucon*) que se forman en el interior de la mesoglea.

La reproducción de las esponjas es sexual y asexual. En este último caso tiene lugar una gemación externa o interna. Cuando la gemación es interna se forma dentro de las esponjas una acumulación de células, que están rodeadas por una resistente envoltura y constituyen la *gémula*. Este modo de reproducción se encuentra en la esponja de agua dulce *Spongilla*. En otoño, cuando muere el cuerpo de la esponja, las gémulas caen al fon-

do, y en primavera originan una nueva generación. Entre los espongiarios los hay hermafroditas y dimorfos. La fecundación es cruzada. El huevo comienza a desarrollarse en el organismo materno y después la larva lo completa en el agua. Las esponjas poseen una gran capacidad regenerativa.

La clasificación de las esponjas se basa en la composición de su esqueleto: esponjas calcáreas, esponjas de vidrio o silíceas, esponjas silícocórneas, etc.

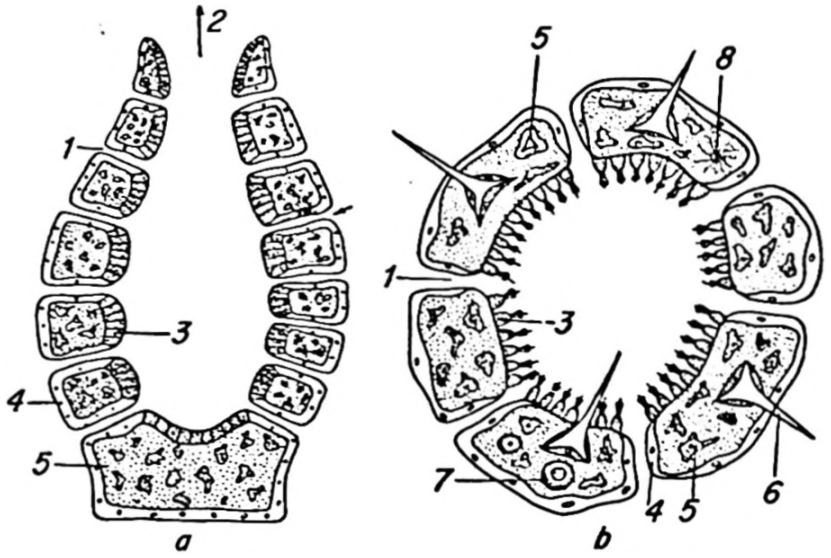


FIG. 167. Esquema estructural de un espongiario del tipo Ascón: *a*, sección longitudinal; *b*, sección transversal; 1, poros; 2, ósculo; 3, coanocitos; 4, células de la masa fundamental; 6, espícula esquelética; 7, óvulo; 8, espermatozoides.

En la medicina popular se utiliza la *Spongilla* en sustitución de los sinapismos. El esqueleto de esta esponja es mixto (espongina con agujas de sílice).

La ausencia en los espongiarios de tejidos diferenciados y de células nerviosas y musculares, demuestra que son los animales más primitivos de todos los metazoarios que se conocen. Es evidente que los espongiarios se hallan mucho más próximos a los antecesores coloniales que todos los demás pluricelulares.

La presencia en las esponjas de células especiales, los coanocitos, que se encuentran también en los coanoflagelados, permite suponer que los espongiarios tuvieron como predecesores a ciertos coanozoides primitivos. Al parecer, las esponjas constituyen una rama especial de animales pluricelulares, que surgió independientemente de las otras formas. Constituyen una rama aislada en la evolución del reino animal y carecen de relaciones filogenéticas con cualquier otro grupo de metazoarios superiores.

TIPO III. CELENTEREOS (COELENTERATA)

Los celentéreos son exclusivamente animales acuáticos, marinos en su inmensa mayoría. Algunos de ellos nadan libremente (*medusas, sifonóforos, tenóforos*), otros viven fijos (*pólipos*).

Son metazoarios *constituidos por dos hojas,* con una simetría radiada que no se cumple totalmente entre los representantes superiores de este tipo.

Las paredes del cuerpo, que es abolsado, están formadas por el ectodermo y el endodermo; entre ellos hay una mesoglea gelatinosa, cuyo grado de desarrollo varía según los diferentes representantes.

En el interior del cuerpo se encuentra la cavidad *(gastrovascular),* que desempeña la función digestiva. La cavidad se comunica con el exterior mediante un orificio bucal, rodeado de tentáculos. Estos últimos sirven para apoderarse del alimento. A través de la boca se expulsan también los restos no digeridos.

La mayoría de los celentéreos poseen dispositivos para defenderse y atacar: son las células urticantes o cnidoblastos; están formadas por una cápsula con un filamento, que es lanzado al exterior al ser excitado.

Los celentéreos tienen ya en su cuerpo elementos nerviosos, que se presentan en forma de un *sistema nervioso difuso,* de carácter primitivo. Lo constituyen células nerviosas, repartidas por el ectodermo, o bien un sistema más complicado de *filamentos nerviosos,* ligados a los órganos sensoriales.

La reproducción es sexual y asexual. La mayoría de los celentéreos tienen una gran capacidad regenerativa, por lo que vuelven a crecerles las partes perdidas del cuerpo.

El tipo de los celentéreos se divide en dos subtipos: el subtipo I, cnidarios, integrado por tres clases: 1) hidrozoarios; 2) escifozoarios y 3) antozoarios, y el subtipo II, los acnidarios, que incluyen una sola clase, los ctenóforos.

SUBTIPO I. CNIDARIOS (CNIDARIA)

Todos los animales que pertenecen a este subtipo disponen de células urticantes.

Clase 1ª Hidrozoarios (Hydrozoa).

Es la clase inferior, que agrupa pólipos y medusas. Entre los hidrozoarios hay formas marinas y dulceacuícolas. Los rasgos característicos de la clase son el endodermo que llega directamente al orificio bucal, los productos sexuales que se forman en el *ectodermo* y el esqueleto (en los pólipos), que lo produce el ectodermo en forma de una cutícula, que a veces se impregna de cal. El representante típico de los hidrozoarios es el pólipo de agua dulce, la *hidra* (*Hydra*).

La *Hydra fusca* tiene la forma de un cilindro alargado, cuya parte inferior se estrecha para dar lugar al tallo o pie. La base del tallo es más ancha, formando un disco, mediante el cual se adhiere la hidra a los

objetos submarinos. Su longitud oscila entre 1 y 2 cm. En el extremo libre hay una elevación que constituye el cono bucal, en cuyo vértice se halla el orificio bucal, rodeado de tentáculos. La boca conduce a la cavidad digestiva, que se prolonga por el interior de los tentáculos. Las células

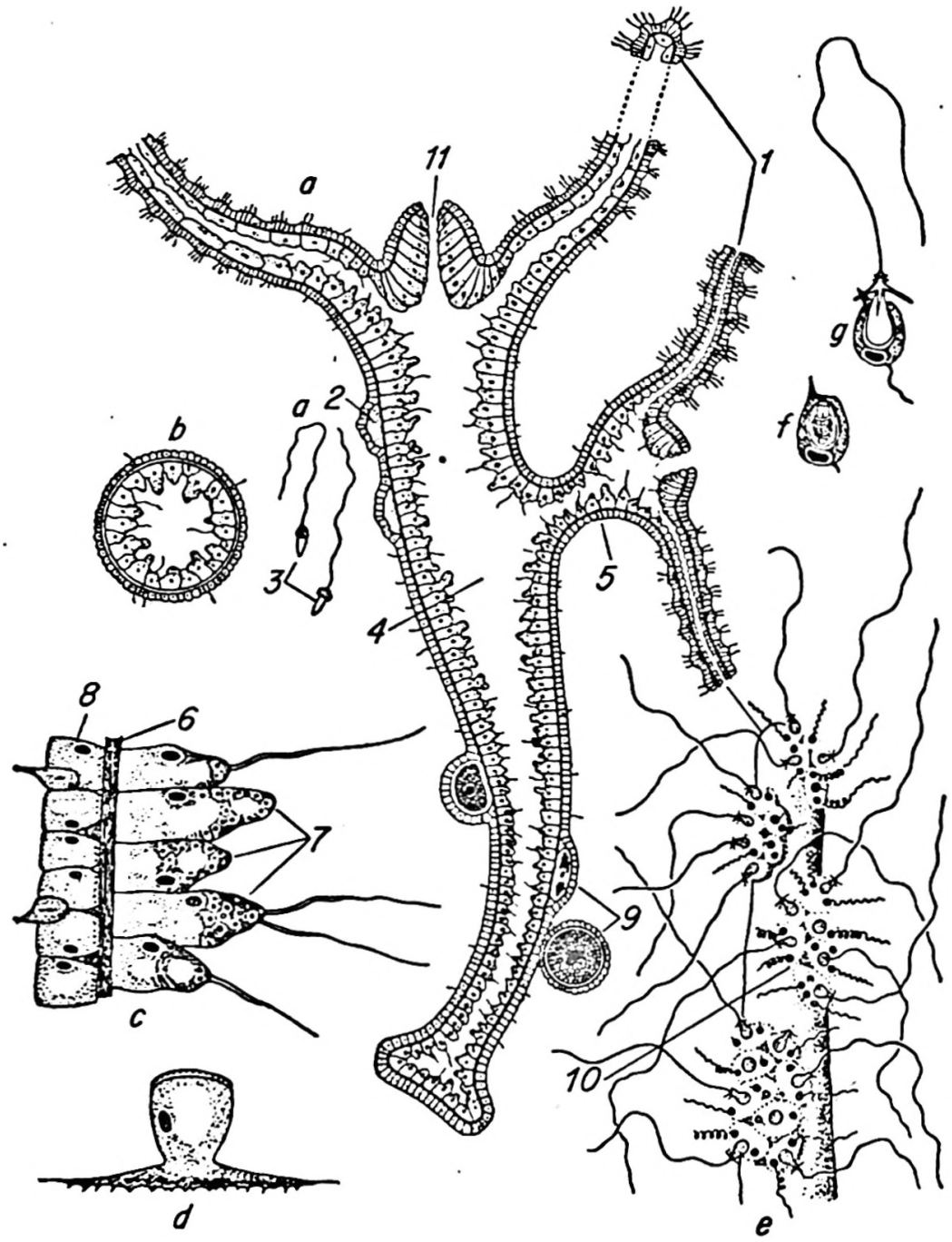


FIG. 168. Estructura histológica de la hidra: *a*, sección longitudinal del cuerpo de la hidra; *b*, sección transversal; *c*, fragmento de la sección transversal, muy aumentado; *d*, célula epiteliomuscular; *e*, extremidad de un tentáculo con los filamentos urticantes que ya han sido proyectados; *f*, cnidoblasto con el filamento arrollado, y *g*, con el filamento desenrollado; 1, tentáculos; 2, testículo; 3, espermatozoides; 4, cavidad digestiva o atrial; 5, yema, en una fase adelantada de desarrollo; 6, neoglea; 7, endodermo; 8, ectodermo; 9, huevo, en una fase temprana del desarrollo; 10, batería urticante; 11, boca.

del ectodermo y del endodermo están diferenciadas en distintas direcciones (fig. 168). Los cnidoblastos son células ectodérmicas modificadas, en las que el protoplasma y el núcleo han sido rechazados hacia la membrana. La cápsula urticante es un saquito ovalado, que en su interior tiene un filamento arrollado en hélice. En la superficie exterior de la célula urticante hay un pelillo táctil, el *cnidocilo*. Los cnidoblastos abundan especialmente en los tentáculos.

La mayoría de las células del ectodermo son *células epiteliales* cilíndricas o cúbicas. En algunas de ellas, la base, que está orientada hacia la mesoglea, se estira formando un largo apéndice, cuyo protoplasma pasa a constituir filamentos contráctiles finísimos. Estas células, que se llaman *epiteliomusculares,* desempeñan la función doble de integrar tegumentos y de ser células musculares.

Entre las bases de las células epiteliomusculares se hallan unas celulillas *intersticiales,* que son células sensibles y nerviosas y constituyen la red neuroepitelial.

Las células del endodermo se distinguen por su gran tamaño; realizan la función digestiva. En su extremo libre tienen flagelos, gracias a los cuales el alimento se distribuye uniformemente por toda la cavidad gástrica. Además, pueden emitir seudópodos, con los que se apoderan de las pequeñas partículas nutritivas, que digieren en las vacuolas digestivas; se trata en este caso de una digestión intracelular, que los celentéreos conservan paralelamente a la que realizan en la cavidad gastrovascular.

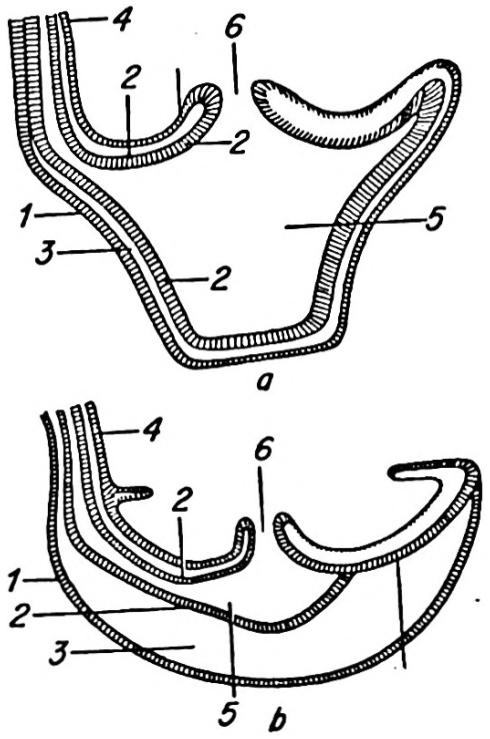


FIG. 169. Esquema de la estructura de un pólipo (*a*) y de una medusa (*b*) de hidrozoario: 1, ectodermo; 2, endodermo; 3, mesoglea; 4, tentáculo; 5, cavidad gastrovascular; 6, boca.

La hidra puede trasladarse, se desplaza encorvando los tentáculos, que después se adhieren a los objetos y arrastran la base del animal o también "volteándose", sujetándose alternativamente por la base o los tentáculos. La hidra se alimenta de los pequeños animales del plancton. En la época calurosa del año, se reproduce por gemación. Las yemas se desprenden del organismo materno y comienzan su vida independiente. La reproducción sexual suele tener lugar en otoño. Las hidras son hermafroditas: los espermatozoides se acumulan en el ectodermo, cerca del orificio bucal. Los óvulos, grandes y aislados, aparecen cerca de la base del celentéreo. La fecundación es cruzada, ya que los gametos masculinos y femeninos maduran en diferentes épocas. Los embriones se cubren de una envoltura resistente y se separan del cuerpo de la madre, cayendo al fondo. En primavera originan una hidra joven.

A la clase de los hidrozoarios pertenece también gran cantidad de formas marinas, la mayoría de las cuales constituyen complicadas colonias, producidas por gemación e integradas por millares de individuos, cuyas

cavidades digestivas están unidas unas con otras. Las colonias se ramifican, asemejándose a vegetales.

En muchos hidrozoarios se observa una alternancia regular de gene-

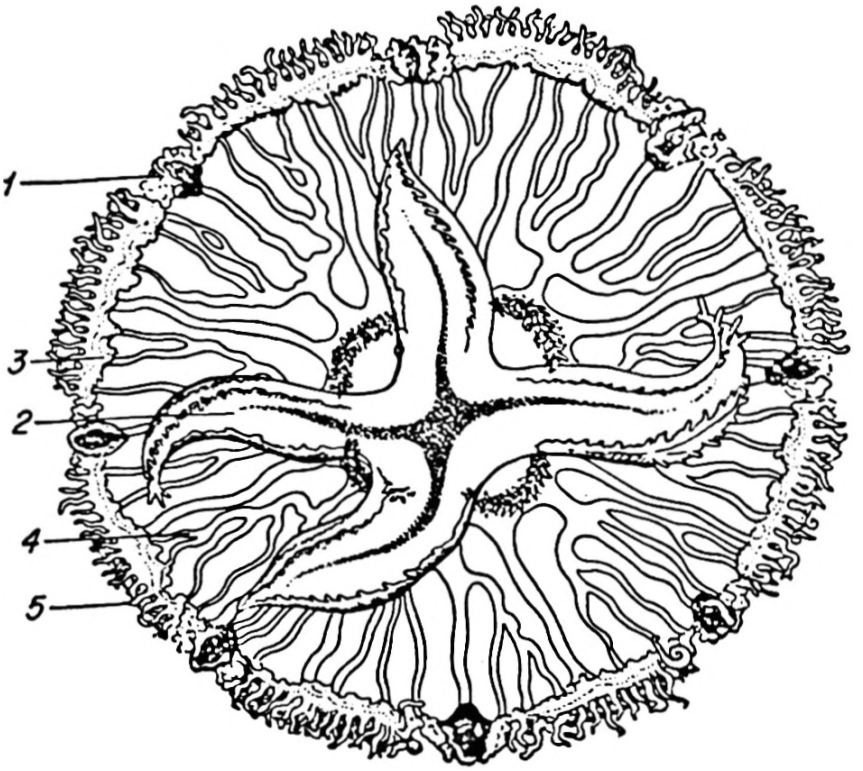


FIG. 170. Medusa de escifozoario (*Aurelia aurita*): 1, ropalias; 2, tentáculos peribucales; 3, canal circular; 4, canales radiales; 5, tentáculos periombrelares (vistos desde abajo).

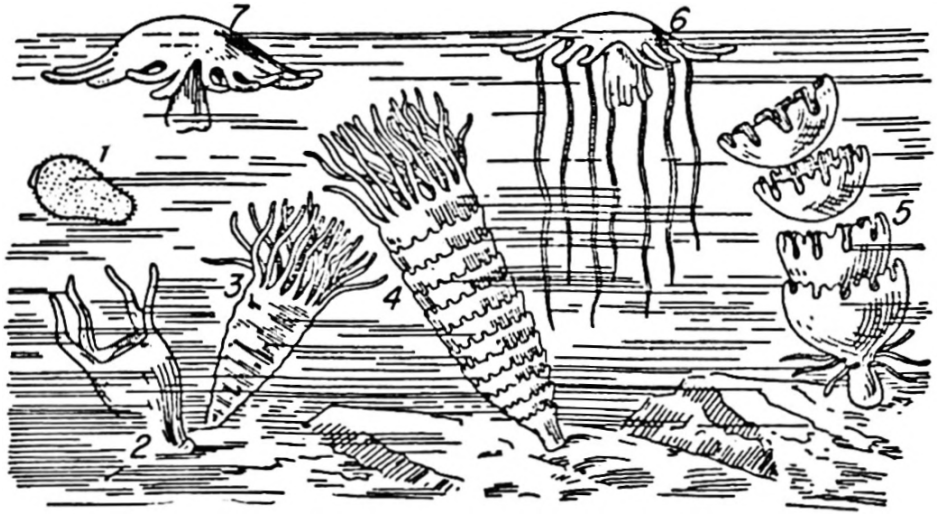


FIG. 171. Desarrollo de una medusa de escifozoario (*Aurelia*): 1, plánula; 2; escifistoma; 3, 4 y 5, diferentes fases de estrobilación; 6, 7, efírulas.

raciones, la *polipoide,* que se reproduce por gemación, y la *medusoide,* que lo hace por procedimiento sexual.

Las medusas surgen por gemación en determinadas partes de la colo-

nia, después se independizan y nadan libremente. La estructura de la medusa corresponde, en rasgos generales, a la del pólipo (fig. 169). La forma de su cuerpo recuerda a una sombrilla o campana. En los bordes están colocados los tentáculos. Del borde libre de la umbrela sale una membrana delgada, el *velo:* de la parte central, el *manubrio,* que termina en el orificio bucal, el cual comunica con la cavidad digestiva gastrovascular. De la cavidad central parten canales radiales, que van a parar al *canal circular* situado en el borde de la umbrela. Es de este modo como se origina una red de conductos, que constituye el *sistema gastrovascular.* Junto al canal digestivo anular se halla el *anillo nervioso,* originado por concentración de las células nerviosas.

Las células sexuales que se desarrollan en las medusas van a parar al agua, donde tiene lugar la fecundación y el ulterior crecimiento. Se forma una larva, la *plánula,* que nada en el agua por medio de cilios. Después desciende hasta el fondo, se transforma en un pólipo y da origen por gemación a una nueva colonia.

Clase 2ª Escifozoarios (Scyphozoa).

Esta clase agrupa a las medusas marinas de gran tamaño que en casos aislados llegan a alcanzar dimensiones gigantescas (*Cyanea arctica*), cuyo diámetro llega a 2 m y los tentáculos a 30 m. Los escifozoarios tienen poco desarrollada la generación polipoide. Los productos sexuales se forman en el endodermo. Las medusas de esta clase tienen una estructura más complicada y se diferencian de las medusas de los hidrozoos en que carecen de velo.

Un representante es la medusa *Aurelia (Aurelia aurita)* (fig. 170).

El disco de la *Aurelia,* cuyo diámetro oscila entre 30 y 40 cm., es aplanado y transparente, de coloración violácea. En el borde están los tentáculos, que son cortos, y las *ropalias* o *cuerpos marginales,* que son los órganos sensitivos. Hay un *orificio olfatorio,* un *estatocisto,* órgano del equilibrio, y ojos primitivos. Las ropalias están insertas en lóbulos especiales del borde de la umbrela. La mayor complejidad del sistema nervioso consiste en la aparición de ganglios nerviosos embrionarios, que corresponden a la posición ocupada por los cuerpos marginales. El manubrio se continúa tras él, por cuatro tentáculos grandes. La *faringe* ectodérmica va a parar a una voluminosa cavidad estomacal, que se continúa por cuatro sacos gástricos. Los numerosos canales radiales del sistema gastrovascular están parcialmente ramificados.

Las medusas presentan dimorfismo sexual. Los gametos que se originan en las gonadas salen a través de la boca. En el agua tiene lugar la fecundación y el desarrollo de la larva, la plánula (fig. 171). En ciertos casos, por ejemplo, en la Aurelia del Mar Blanco, la plánula se produce en el organismo materno. Después de nadar cierto tiempo, la plánula desciende al fondo y se fija. El desarrollo ulterior da lugar a la formación de un pólipo aislado, semejante a la hidra, pero de estructura más complicada, el *escifistoma* o *escífula.* El escifistoma crece y después comienza a reproducirse mediante una gemación especial, consistente en una segmentación transversal, llamada *estrobilación,* que da lugar a la formación de varios discos, los estróbilos, los cuales se van desprendiendo y convirtiéndose en pequeñas medusas o *efírulas.* Las efirulas, al crecer, dan lugar a Aurelias adultas.

Clase 3ª Antozoarios o pólipos coralinos (Actinozoa).

Los antozoarios tienen sólo la forma polipoide y no muestran nunca alternancia de generaciones.

En la mayoría de los casos se trata de habitantes de los mares templados y tropicales, que a veces viven aislados, aunque, por lo general, constituyen colonias, las cuales pueden alcanzar considerables dimensiones. Gracias a su esqueleto calcáreo, que está muy desarrollado, algunos de ellos dan lugar a arrecifes e incluso islas coralinas.

Su *esqueleto* puede ser externo, constituído por las células del ectodermo o interno, originado en la mesoglea en forma de espículas calcáreas diferentes.

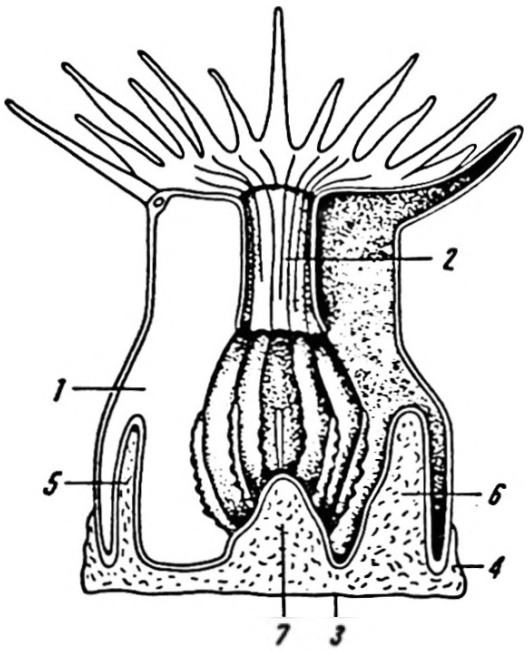


FIG. 172. Estructura interna y esqueleto de un zoantario (antozoo): 1, septo; 2, esófago; 3, prototeca calcárea; 4, epiteca; 5, teca; 6, esclerosepto; 7, columna.

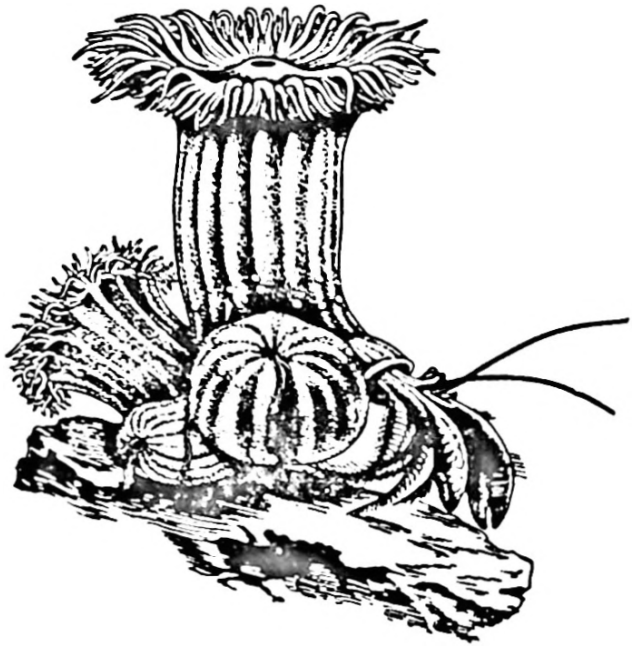


FIG. 173. Actinia (*Adamsia rondeleti*): establecida sobre una concha habitada por un cangrejo ermitaño.

La estructura de los pólipos coralinos ofrece rasgos comunes con la de las medusas de los escifozoarios (fig. 172). Los pólipos coralinos se caracterizan por la presencia de una faringe ectodérmica, por la complicada estructura de la cavidad gástrica interna, dividida en cámaras, y también por el desarrollo de los productos sexuales a partir del endodermo.

La boca de los antozoarios tiene la configuración de una ranura, por lo que la faringe está también aplastada y sus tabiques tienen pliegues. La forma de la boca y el esófago aplastado alteran la simetría radial, a consecuencia de lo cual hay en realidad únicamente dos planos de simetría, que dividen la boca y el esófago en dos mitades iguales.

La clasificación de estos celentéreos se basa en el número de tentáculos, y también de tabiques o septos en la cavidad interior. Se distinguen los antozoarios *octocoralarios* o alcionarios, con ocho tentáculos y ocho septos, y los *hexacoralarios* o zoantarios, con muchos tentáculos y septos en número múltiplo de seis. Representante de los zoantarios es el pólipo solitario, la Actinia.

La *Actinia* o *anémona de mar* (*Adamsia roendeleti*, fig. 173) tiene el cuerpo cilíndrico, con la base adherida al fondo submarino. En la parte opuesta se halla la boca, que es alargada. En sus bordes hay una serie de tentáculos relativamente cortos. La

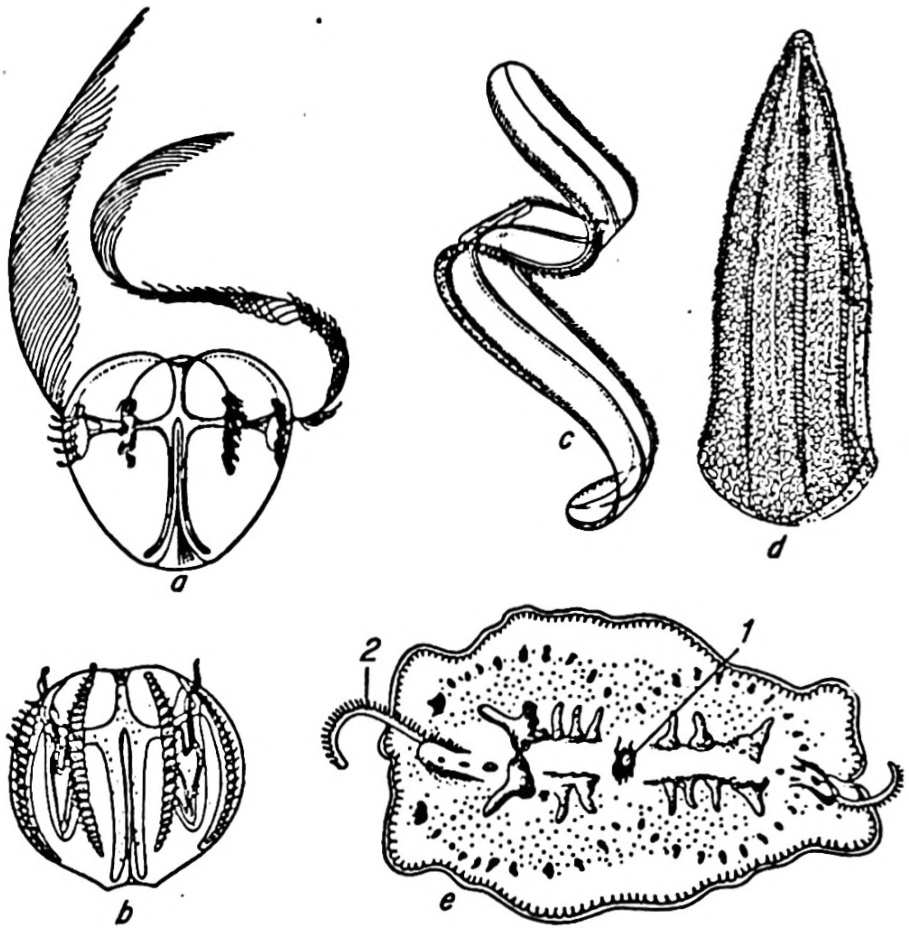


FIG. 174. Tenóforos: *a*, tenóforo *Bolinopsis* joven; *b*, *Pleurobranchia rhododactyla*; *c*, cinta de Venus (*Cestus veneris*), muy disminuida; *d*, *Beroe forskalii*; *e*, *Coeloplana*. 1, órgano aboral; 2, tentáculo (aumentado).

boca conduce a un esófago, algo aplastado por los lados, que queda suspendido, a modo de tubo, en la cavidad gástrica. Esta cavidad presenta numerosos septos, que por su parte superior se unen al tubo esofágico. Los septos originan compartimentos, que se prolongan por cavidades tentaculares; son láminas de mesoglea cubiertas en sus dos caras por el endodermo, y provistas, además, de un fascículo de músculos. La parte inferior de los septos es libre y tiene el borde grueso a modo de un cordón, que contienen células glandulares; se denomina enteroide o filamento *mesentérico*.

Las actinias tienen los sexos separados. La fecundación se realiza en la cavidad interior. Las pequeñas actinias formadas salen por la boca.

SUBTIPO II. ACNIDARIOS (ACNIDARIA)

Clase 1ª Tenóforos (Ctenophora).

Los tenóforos, únicos representantes del subtipo de los acnidarios, están desprovistos de cnidoblastos. Poseen células aglutinantes especiales, situadas en los tentáculos y que sirven para apoderarse de sus presas.

Los tenóforos constituyen la clase superior de celentéreos. Son animales libres, exclusivamente marinos. Su cuerpo gelatinoso y semitransparente suele ser ovalado o piriforme, aunque en algunos casos es alargado y acintado (cinta de Venus) (fig. 174).

En lo que respecta a la configuración del cuerpo, éste ofrece simetría radial y bilateral. Uno de los polos corresponde a la boca; en el opuesto se halla el *órgano aboral,* que es órgano del equilibrio y coordina los movimientos. La mayoría de los tenóforos tiene un par de tentáculos, que generalmente están colocados simétricamente a ambos lados del cuerpo. De uno a otro polo se extienden ocho bandas meridionales, las *paletas natatorias,* constituidas por grandes cilios unidos entre sí. Las paletas están ligadas a unos fascículos de músculos subepidérmicos, gracias a los cuales se mueven.

El cuerpo del animal está cruzado interiormente por un sistema de canales semejante al sistema gastrovascular de las medusas. Los canales, que parten de la cavidad estomacal o embudo, responden a una simetría bilateral (del embudo emergen dos en dirección horizontal, que luego se hacen dicótomos). La mesoglea que hay entre los canales pueden considerarse por su origen y por los elementos musculares que contiene como un mesodermo primitivo, rudimento de una tercera hoja embrionaria.

La complicación del sistema nervioso consiste en la formación de un plexo nervioso alrededor de la boca y también de ocho series de ganglios nerviosos, situados debajo de las paletas natatorias y que se concentran en el órgano aboral.

Los tenóforos son hermafroditas y su reproducción es exclusivamente sexual. Las gonadas se desarrollan en el endodermo de los canales del sistema gastrovascular, situados bajo las paletas natatorias. Las células sexuales suelen salir al exterior por la boca. La fecundación se verifica en el agua. El desarrollo es directo y sin alternancia de generaciones.

Todas las clases de celentéreos, desde los hidrozoarios hasta los tenóforos, ofrecen determinados grados de complejidad en su organización. El intestino se diferencia en una faringe ectodérmica y en intestino medio endodérmico; el sistema digestivo se complica con la formación de tabiques, lo que aumenta la superficie de absorción. Los tenóforos, al mismo tiempo que presentan algunos rasgos primitivos (se mueven con ayuda de cilios transformados), ofrecen otros que indican el paso a una organización superior, como son: la aparición del rudimento de la tercera hoja embrionaria, el mesodermo y su simetría, en parte bilateral.

Ofrece especial interés el grupo de los tenóforos *reptantes,* que pertenecen, en lo fundamental, a los géneros *Coeloplana* y *Ctenoplana.* Son animales de forma ovalada, con el cuerpo muy aplanado en la dirección oral-aboral. En la superficie inferior se halla la base reptante; en la superior, el órgano aboral y un par de tentáculos. El primer representante de este grupo lo encontró A. O. Kovalevski. Todo el cuerpo de los *Ceoloplana* está cubierto de pequeños cilios; el animal se arrastra por el suelo a semejanza de los turbelarios. La forma del cuerpo muestra claramente el paso a la simetría bilateral.

Los celentéreos son metazoarios primitivos que se hallan en la base del árbol filogenético de todos los demás metazoarios. De todos los celentéreos, las formas más próximas a las originarias (organismos del tipo

"parenquimela" de Méchnikov) son los representantes de la clase Hidrozoarios. Las demás clases representan una complicación sucesiva del tipo originario.

ANIMALES DE SIMETRIA BILATERAL (BILATERALIA)

Grupo Gusanos (Vermes)

Los gusanos constituyen un amplio grupo de invertebrados que se caracteriza por su gran variedad; sin embargo, algunos de los caracteres más generales son comunes a todos ellos.

Son animales de simetría bilateral, que carecen de verdaderas extremidades. Las paredes de su cuerpo están constituídas por piel y músculos, los cuales no se subdividen en fascículos aislados para desempeñar objetivos determinados, como se observa en los animales de organización más elevada, sino que constituyen capas continuas, que se entrelazan con la piel.

El conjunto de la piel y los músculos lleva el nombre de *túnica músculo-epitelial.* Esta "túnica" o "saco" envuelve los órganos internos, entre los cuales quedan espacios, que, o bien están vacíos y constituyen la *cavidad general del cuerpo,* o están rellenos de un tejido conjuntivo *(parénquima).* Tanto los músculos como el parénquima derivan del mesodermo. Por tanto, los gusanos, a diferencia de los celentéreos, son animales constituídos por *tres hojas embrionarias;* sus órganos se desarrollan en el proceso de embriogenia a partir del ectodermo, endodermo y mesodermo.

Entre los gusanos hay gran cantidad de formas parásitas muy variadas. Los gusanos parásitos, a excepción de las sanguijuelas, se acostumbra a agruparlos bajo el nombre genérico de helmintos *(Helminthes),* término que no es taxonómico.

Estudiaremos tres tipos fundamentales de gusanos: 1) Platelmintos o Gusanos planos *(Plathelminthes);* 2) Nematelmintos o Gusanos cilíndricos (*Nemathelminthes*) y 3) Anélidos (*Annelides*).

TIPO IV. PLATELMINTOS, GUSANOS PLANOS O PARENQUIMATOSOS (PLATHELMINTHES)

Los platelmintos se caracterizan por su cuerpo aplanado en la dirección dorso-ventral. Carecen de cavidades y los espacios que quedan entre los órganos están rellenos de células *parenquimatosas* estrelladas. El tubo digestivo falta o su estructura es muy primitiva, estando representado por un *intestino anterior* ectodérmico o faringe y otro *intermedio* endodérmico, que es ciego. No hay ni intestino posterior ni orificio anal. El intestino de los platelmintos recuerda, por tanto, el sistema gastrovascular de los celentéreos. La mayoría de los gusanos planos tienen el intestino muy ramificado; sus prolongaciones cruzan, a veces, todo el cuerpo del animal, debido a que, lo mismo que sucede en los celentéreos, el intestino de los gusanos planos no sólo realiza la función digestiva, sino también la de distribuir los productos alimenticios, lo que a su vez está relacionado con la falta de aparato circulatorio.

No poseen tampoco órganos respiratorios especiales y el intercambio gaseoso se verifica, en lo fundamental, a través de la superficie del cuerpo

(respiración cutánea). Los parásitos intestinales realizan la respiración anaerobia al mismo tiempo que la aerobia.

En su forma típica el sistema nervioso consta de un *par de ganglios cerebroides* y de dos *cordones nerviosos* que parten de ellos hacia atrás, siendo generalmente los más desarrollados los dos laterales. Entre los nervios contiguos hay, en la mayoría de los casos, un sistema de conexiones transversales muy delgadas, que constituyen un complicado plexo nervioso. Los órganos sensoriales tienen poco desarrollo, estando simplificados sobre todo en los parásitos. Toda la piel actúa de órgano táctil, mediante las células sensitivas que hay esparcidas en ella. Los gusanos de vida libre suelen tener ojos (uno o varios pares). El ojo lo constituye un cáliz pigmentario, las células retinianas, cuyos extremos están dotados de unos bastones sensibles a la luz. Algunos poseen también órgano de equilibrio, constituídos por estatocistos que tienen en su interior una concreción calcárea.

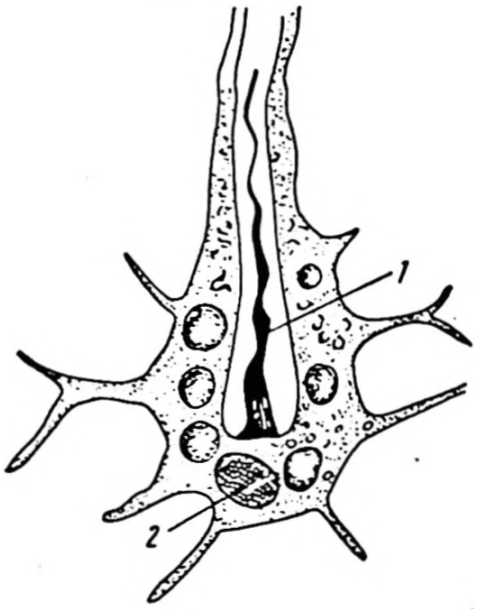


FIG. 175. Porción terminal de un órgano del sistema excretor con "llama vibrátil": 1, grupos de cilios ("llama vibrátil"); 2, núcleo de la célula.

La expulsión del organismo de los productos de su actividad vital se realiza principalmente mediante un sistema excretor especial, de tipo acuífero o *protonefridial*. La función primordial y más importante de los protonefridios es la de regular la presión osmótica (los protonefridios están muy desarrollados en los platelmintos, que son habitantes de agua dulce); al mismo tiempo, los protonefridios han alcanzado también una función excretora propia, la capacidad de concentrar y expulsar del cuerpo los productos finales del metabolismo. Esto se realiza mediante un sistema de tubitos, que se reúnen en una canal excretor general. Los tubitos comienzan en unas células estrelladas de gran tamaño con un manojo de cilios y que constituyen las *células terminales* o *flamígeras* (fig. 175). De estas células, el líquido que va a parar a ellas, procedente de los tejidos circundantes, pasa por los canales hacia el exterior; los tabiques de los canales tienen la propiedad de excretar.

Casi todos los gusanos planos son hermafroditas. Su sistema sexual es muy complicado. A los testículos y ovarios se añaden muchas partes complementarias, que desempeñan el papel de conductos sexuales y de órganos de la fecundación. La mayor complicación del sistema sexual, en comparación con el de los celentéreos, radica precisamente en la formación de estos canales deferentes especiales.

Los platelmintos se dividen en tres clases: 1) turbelarios o gusanos ciliados (*Turbellaria*); 2) trematodos (*Trematoda*) y 3) cestodos (*Cestoidea*).

Clase 1ª Turbelarios o gusanos ciliados (Turbellaria).

Los turbelarios son principalmente gusanos de vida libre, que habitan en el agua y en el suelo húmedo. Su organización es, en lo fundamental, la que hemos señalado como típica de los platelmintos, por lo que nos limitaremos a señalar algunos de sus rasgos característicos.

Su cuerpo (fig. 176) está recubierto por un epitelio, cuyos cilios, al vibrar, producen el movimiento del animal. Se mueve éste además mediante contracciones de la envoltura músculo-epitelial, que está formada por un epitelio, debajo del cual se halla una membrana elástica carente de estructura, la *membrana basal*, que sirve de apoyo; debajo de ella están los músculos. Estos constan de fibras musculares lisas, distribuídas en tres capas que van en distintas direcciones (una anular-espiral, otra longitudinal y la tercera en sentido diagonal); existen también músculos dorsoventrales.

En el sistema digestivo de los turbelarios es digna de atención la digestión *intracelular*, que se conserva junto a la realizada en las cavidades digestivas: las células del epitelio intestinal son capaces de formar seudópodos y vacuolas digestivas; aquí se refleja claramente la semejanza con la digestión de los celentéreos y los protozoarios. La faringe, que da comienzo al canal digestivo, puede alargarse y salir al exterior por el orificio bucal, y sirve para apoderarse de las presas. Todos los demás aparatos no ofrecen diferencias importantes.

La reproducción es generalmente sexual. Sin embargo, algunos turbelarios son también capaces de reproducción ágama, mediante una segmentación transversal secundaria. La división comienza por una estrangulación del cuerpo, detrás de la faringe. Antes de que la mitad posterior del cuerpo se separe totalmente, aparecen en ella los rudimentos de los nuevos órganos, que tienen que surgir para que resulte un animal completo. A veces, mediante varias estrangulaciones, se produce una a modo de colonia temporal, en forma de cadena (fig. 177).

Es posible que los turbelarios se relacionen filogenéticamente con los tenóforos reptantes. Ambos grupos presentan una serie de rasgos comunes: el cuerpo aplastado, la boca en la parte ventral, un epitelio ciliado y la nutrición intracelular. Sin embargo, ya que los tenóforos actuales son un grupo muy especializado, es difícil pensar que constituyan el origen de los turbelarios. Es más probable suponer que, tanto los turbelarios como los tenóforos reptantes, tienen antecesores comunes, semejantes por su estructura a la larva de los celentéreos, la plánula. Los turbelarios constituyen un grupo central, con el que se relaciona el desarrollo ulterior de muchos organismos superiores; desde este punto de vista ofrecen un gran interés por su importancia filogenética.

Clase 2ª Trematodos (Trematoda).

Por su estructura, los trematodos se asemejan a los turbelarios, aunque, a diferencia suya, son platelmintos parásitos. Sus dimensiones oscilan entre los muy pequeños y los de tamaño relativamente grande (la *Fasciola hepatica* llega a medir 5 cm.). Tienen el cuerpo muy aplastado, foliar, cubierto exteriormente por una *cuticula* (sólo tienen revestimiento

ciliar durante las fases larvarias); debajo de la cutícula no hay un verdadero epitelio; en su lugar, las células aisladas penetran profundamente en el parénquima. La musculatura está constituída del mismo modo que en los turbelarios.

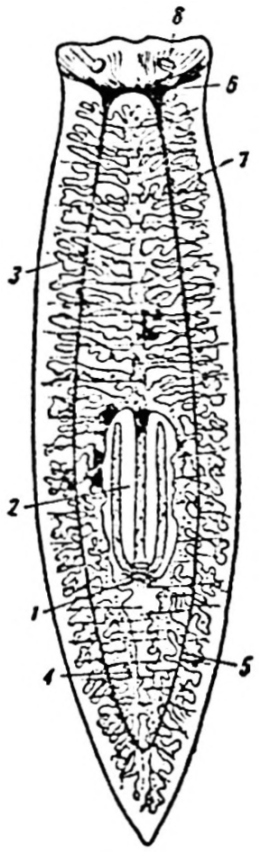


FIG. 176. Sistemas digestivo y nervioso de la planaria láctea: 1, orificio bucal; 2, faringe; 3, rama anterior del intestino; 4, rama posterior derecha del intestino; 5, rama posterior izquierda del intestino; 6, ganglio nervioso cerebroide; 7, cadena nerviosa lateral izquierda; 8, ojo.

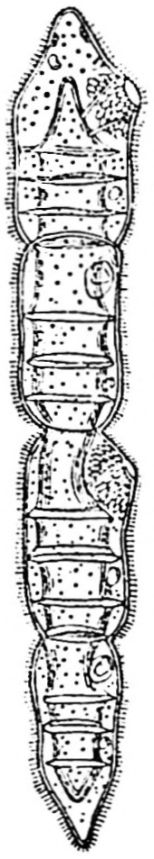


FIG. 177. *Microstomum lineare* en el momento de la división transversal.

Es típico de los trematodos la presencia de *ventosas,* y de ello proviene el nombre latino de la clase. Las ventosas son unas depresiones en forma de plato rodeadas por un anillo de músculos, con ayuda de los cuales puede disminuir y aumentar el tamaño de la cavidad. Una de ellas, la ventosa oral, se encuentra en la parte anterior del cuerpo, y en su fondo está la boca. Además de ésta hay otras: los representantes de la subclase de los *distomas* (*Digenea*) tienen una segunda ventosa en la parte ventral; la subclase de los *polistomos* (*Monogenea*) se diferencia por la presencia de un grupo de ellas. Hay que señalar que el nombre de distomo o polistomo no es muy acertado, ya que sólo una ventosa guarda relación con el sistema digestivo; las demás sirven para adherirse al cuerpo del huésped.

El orificio bucal conduce al intestino, que termina en fondo ciego. A veces (*Fasciola hepatica*) el intestino está muy ramificado, pero lo más frecuente es que sólo se bifurque (*Dicrocoelium lanceatum,* etc.). Los sistemas excretor y nervioso tienen la estructura típica de los platelmintos, y no ofrecen rasgos especiales.

La inmensa mayoría de los trematodos son hermafroditas, con los órganos de reproducción tan desarrollados que prevalecen sobre los restantes órganos del cuerpo (fig. 178). El sistema genital masculino suele estar representado por un par de *testículos,* los *canales deferentes* y el órgano copulativo (*cirro*).

Los órganos femeninos son más complicados. En la mayoría de los casos, además del ovario o *germígeno* y del *oviducto,* hay algunos elementos complementarios: los *vitelógenos* foliculares con sus canales, y la *bolsa copulatriz;* todos estos órganos se comunican con la parte central del sistema, con una cámara especial llamada *ootipo,* en la que se realizan los últimos procesos de los huevos fecundados. A él van a parar también los canales de numerosas glándulas unicelulares, los *corpúsculos de Mehlis,* los cuales segregan un líquido gelatinoso, que llena el útero. Del ootipo

parte hacia la sección dorsal el *conducto de Laurer*. El útero, en forma de tubo, comienza en el ootipo y va a dar a la superficie en el *poro reproductor,* junto al orificio del cirro. En algunos de los trematodos distómidos, los espermatozoides penetran por el útero en la bolsa copulatriz, donde se realiza la fecundación; en ellas se encuentran también los huevos fecundados. Otros, los polistómidos, tienen un canal especial (vaginal), el conducto de Laurer; este conducto lo han conservado los distómidos en forma rudimentaria.

La fecundación de los trematodos es *cruzada,* siendo notable su extraordinaria proliferación.

Los huevos de los distintos trematodos se diferencian por su forma, estructura y dimensiones, diferencias que se utilizan en el diagnóstico de los parásitos.

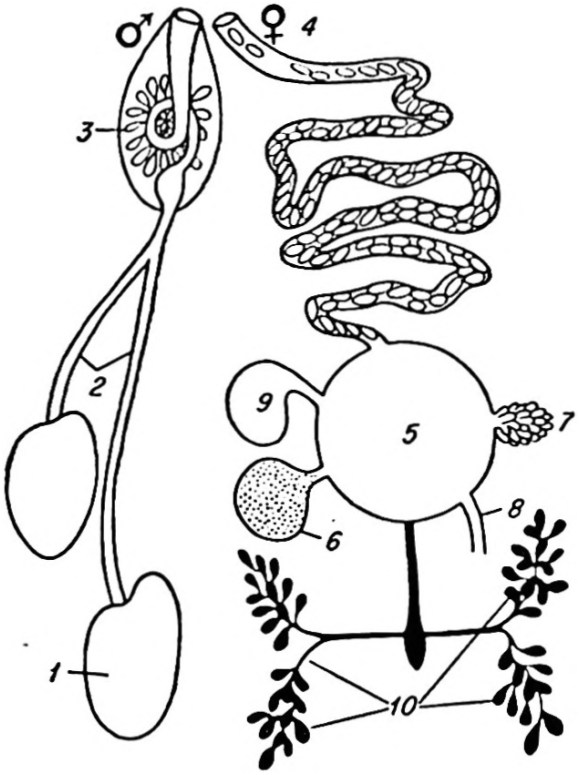


FIG. 178. Esquema del aparato sexual de los tremátodos: 1, testículos; 2, canales deferentes; 3, cirro; 4, útero; 5, ootipo; 6, oviducto; 7, corpúsculo de Mehlis; 8, conducto de Laurer; 9, bolsa copulatoria; 10, órganos vitelógenos.

Las dos subclases señaladas anteriormente se distinguen profundamente en cuanto al carácter que ofrece la evolución del huevo fecundado. Los polistómidos, que parasitan sobre todo las branquias y la piel de los peces, ofrecen un desarrollo relativamente sencillo, que va acompañado de metamorfosis; en cambio, el de los distómidos es mucho más complicado e incluye el cambio de huésped y la alternancia de generaciones (figura 179).

En el huevo de los trematodos (*Digenea*) se desarrolla una larva, el *miracidio,* que puede vivir únicamente en el agua. En la mayoría de los casos, el miracidio sale del huevo, cuando éste llega al agua, abriendo una tapita que hay en la cáscara. A veces, únicamente sale después de haberse tragado el huevo el huésped intermediario, que suelen serlo unos moluscos. La larva está cubierta de cilios y tiene una mancha ocular impar, dos protonefridios y un centro nervioso; en sus cavidades se encuentran unas células especiales, las *masas germinativas;* en la parte delantera del cuerpo se halla el aparato perforador y las glándulas anteriores. El miracidio nada libremente en el agua y después penetra de forma activa (o con menos frecuencia, pasiva) en el huésped intermedio. En el cuerpo de este se desprende de la envoltura ciliada y se transforma en un informe saquito móvil, llamado *esporocisto.* El esporocisto crece y de las masas germinativas que lo llenan surgen las larvas de la siguiente generación, las *redias.* La redia tiene boca, un corto intestino ciego y un orificio especial, a través del cual sale la nueva generación de embriones. En las redias se desarrolla una segunda generación de redias y, luego las larvas de la siguiente fase, las *cercarias,* que son de estructura variada, pero que en líneas gene-

rales se asemejan ya a los trematodos adultos (tienen ventosas, boca, intestino, sistema excretor, etc.), diferenciándose de ellos por el desarrollo incompleto, principalmente, del aparato sexual y por la presencia de una

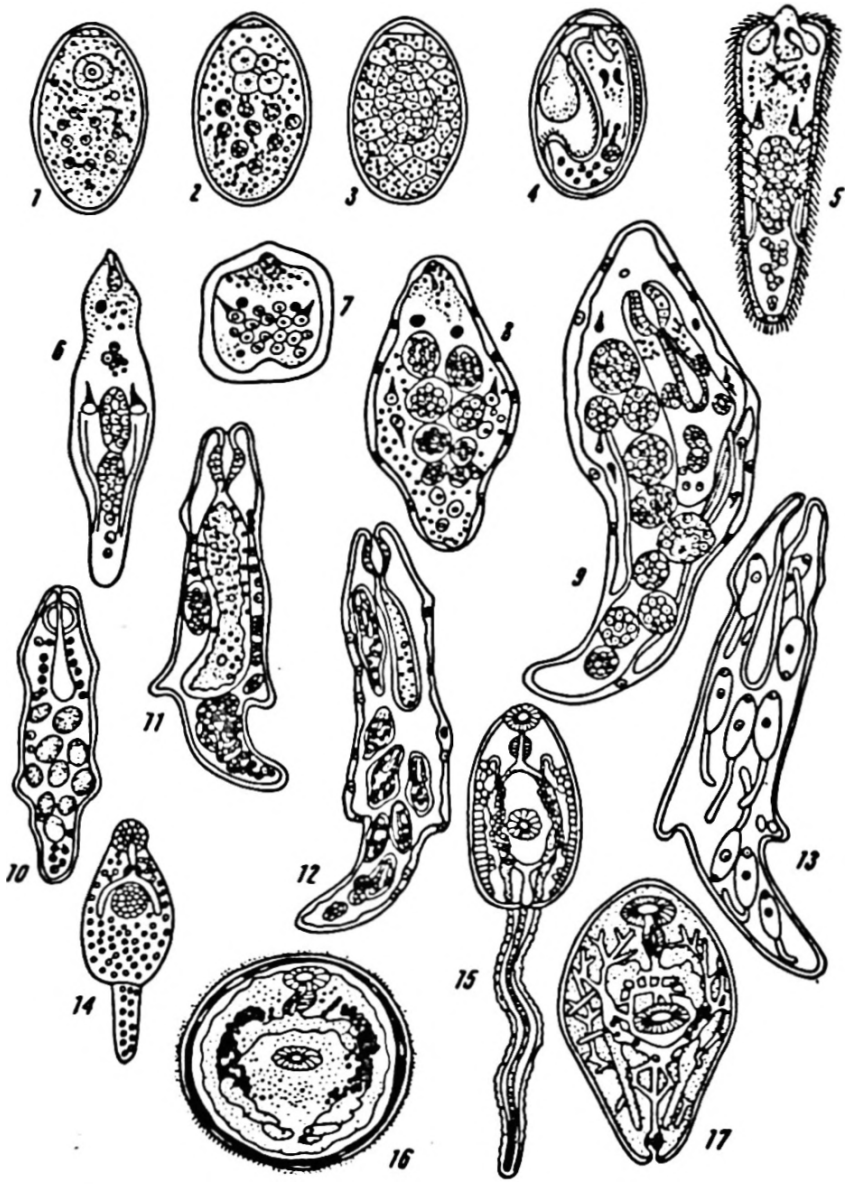


FIG. 179. Ciclo de la fasciola (duela del hígado): 1-4, desarrollo del miracidio en el huevo; 5, miracidio; 6-8, transformación en esporocisto; 9, esporocisto con una redia; 10-13, desarrollo de las cercarias en las redias; 14-15, cercarias; 16, cercaria enquistada; 17, fasciola adulta salida de la cercaria.

cola. Con frecuencia, las cercarias poseen un afilado estilete, con ayuda del cual salen de la redia y después del cuerpo del molusco al medio acuático que los rodea.

Las cercarias nadan libremente en el agua, después de lo cual algunas de ellas pierden la cola, enquistándose y posándose en las plantas (fase de adolescencia); otras, penetran activamente en el cuerpo del segundo huésped intermediario en el cual tiene lugar el mismo proceso de enquis-

tamiento (fase de *metacercaria*). Después de ir a parar al cuerpo de su huésped definitivo, la cercaria enquistada se convierte en una forma sexualmente adulta.

El proceso vital de los trematodos es, pues, complicado.

Para llevar a feliz término este ciclo se necesita una serie de circunstancias favorables, sin las cuales el huevo muere antes de convertirse en un ser adulto. Esta abundancia de condiciones que frenan el desarrollo explica la presencia de una enorme cantidad de huevos.

En el desarrollo de los trematodos es digna de atención la alternancia de generaciones que se observa: la generación sexual típica del individuo adulto en el cuerpo del huésped intermediario; la generación de redias y cercarias surge, al parecer, en forma de *poliembrionia*, es decir, de reproducción ágama de los embriones por gemación. Está también extendida la idea del desarrollo de las masas germinativas por *partenogénesis*. La significación de la reproducción larvaria en el cuerpo del huésped intermediario es la misma que la del gran número de huevos; da lugar a un nuevo aumento del número de embriones que pueden ir a parar al huésped definitivo.

El huésped definitivo de los trematodos es un vertebrado; el primer intermediario, diferentes moluscos; de segundo intermediario complementario (que puede no existir) actúan numerosos animales: moluscos, insectos, peces, anfibios, etc.

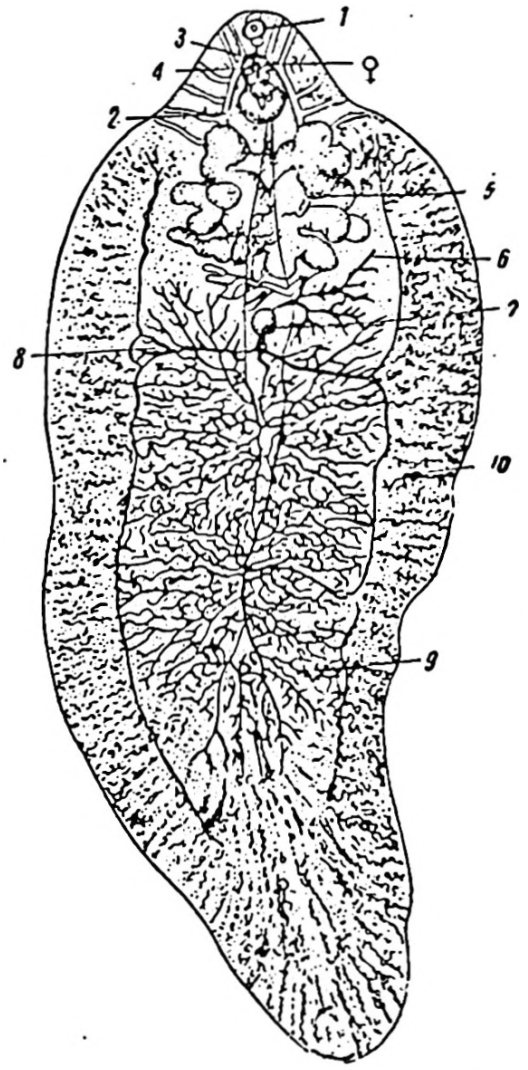


FIG. 180. Fasciola hepática: 1, ventosa oral; 2, ventosa ventral; 3, cirro; 4, poro reproductor; 5, útero; 6, ovario; 7, corpúsculo de Mehlis; 8, canales vitelógenos; 9, testículos; 10, órganos vitelógenos.

Una serie de trematodos son parásitos del hombre. Entre los de mayor tamaño figura la *duela del hígado* o *distoma* (*Fasciola hepatica*) (fig. 180), que vive en el hígado de las ovejas, toros, cabras, cerdos, caballos, conejos y del hombre (raramente). Se la encuentra también en la vesícula biliar. El huésped intermediario es el molusco *Limnaea truncatula*. La contaminación del hombre se produce al beber agua sin hervir o comer verduras regadas con agua de lugares donde hay cercarias enquistadas (fig. 181). Representa un peligro indudable la costumbre tan extendida (sobre todo en los niños) de llevarse a la boca hierbecillas que crecen en cualquiera de los prados inundables.

La estructura de la fasciola adulta se caracteriza por la gran ramificación de todos los sistemas y órganos.

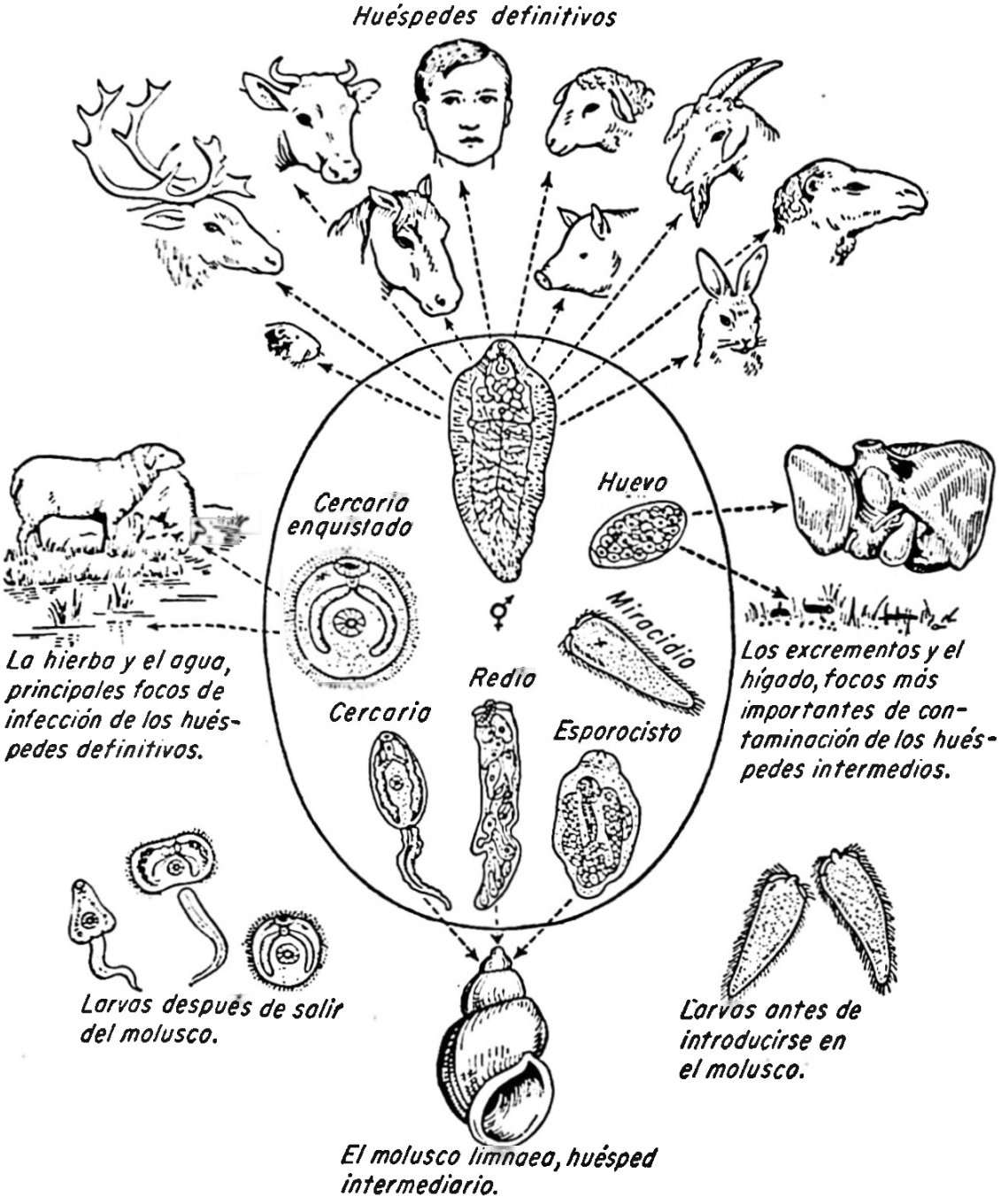


FIG. 181. Ciclo de desarrollo de la *Fasciola hepatica*.

La *Fasciola hepatica*, que se desarrolla a partir de un adolescario ingerido, llega a los conductos biliares. Se observa un aumento del tejido conjuntivo, un engrosamiento de los conductos biliares y después una hipertrofia del parénquima del hígado. Se forman focos de irritación y a veces abcesos. El hígado se inflama y aparecen abultamientos. El enfermo se queja del dolor de hígado y presenta anemia. El taponamiento de los conductos biliares por los cuerpos de los trematodos hace que se paralice la bilis y aparezca la ictericia. Se altera el funcionamiento del estómago y el intestino y se desarrollan una serie de síntomas nerviosos; se siente una

gran debilidad y dolor de cabeza. A veces, la invasión se complica con infecciones complementarias, debido a que las bacterias penetran a través del epitelio destruído (la destrucción la causan las ventosas y los ganchos cuticulares de las fasciolas). Las fasciolas jóvenes pueden introducirse en las paredes del tubo digestivo y llegar a la sangre. Eso explica los casos de localización extraña, en los pulmones, hemisferios cerebrales, tumores subcutáneos, cristalino del ojo, etc. Es también posible la infección uterina del feto por la madre.

Para combatir la enfermedad originada por la duela hepática, llamada ictericia verminosa, se requieren medidas de profilaxis social (destrucción en las aguas de los gasterópodos) y de higiene individual (no beber agua sin hervir, procedente de lugares en que haya moluscos, y no tomar verduras crudas, procedentes de huertas que son regadas con aguas estancadas).

En el hígado del hombre puede encontrarse (raramente) el *trematodo lanceolado (Dicrocoelium lanceatum)* (fig. 182), parásito del ganado vacuno y ovino, de las liebres, perros, etc. Este trematodo se caracteriza por su pequeño tamaño (unos 10 mm. de longitud) y su forma lanceolada; la estructura de sus órganos internos carece de ramificaciones, por lo que es más compacta. El parásito tiene, sin duda, propiedades patógenas. El carácter de su acción en el huésped es semejante a la de la duela, pero algo más débil.

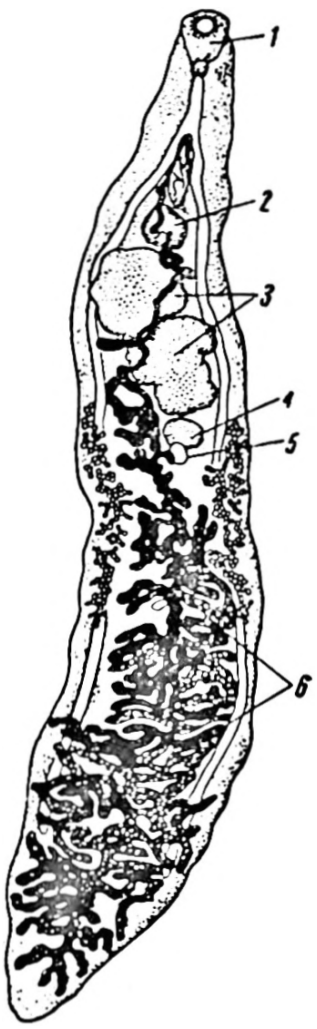


FIG. 182. *Dicrocelium lanceatum*: 1, ventosa oral; 2, ventosa ventral; 3, testículos; 4, ovario; 5, bolsa copulatriz; 6, útero.

El desarrollo del *Dicrocoelium lanceatum* se realiza, en lo fundamental, del mismo modo que la *Fasciola hepática,* pero se complica por la presencia de un segundo huésped intermediario. El papel de primer huésped lo desempeñan moluscos terrestres de los géneros *Zebrina* y *Helicella* (fig. 183). Las hormigas son los huéspedes complementarios. De los pulmones del molusco, las cercarias van a parar a la hierba y el suelo, donde se las comen las hormigas del género *Formica;* tiene lugar después su transformación en metacercarias. La infección de los huéspedes definitivos se produce cuando éstos se tragan las hormigas, probablemente junto con la hierba.

La mayor influencia patógena en el hombre la ejerce el *trematodo de los gatos* o *siberiano (Opisthorchis felineus),* parásito del hígado, de la vesícula biliar y del páncreas humanos y también de los perros, los animales de lana y, esporádicamente, los cerdos. Su longitud aproximada es de 13 mm.; por su estructura se asemeja mucho al *Dicrocoelium lanceatum,* del que se diferencia por tener los testículos en la parte posterior del cuerpo.

El ciclo evolutivo es complicado; además del primer huésped intermediario, un molusco (*Bithynia leachi*), hay un segundo huésped intermedia-

rio (fig. 185). Si existe la especie conveniente de peces (gobios, carpas, sargos, tencas, etc.), las cercarias, que nadan en el agua, se introducen de forma activa en sus tegumentos y músculos y allí se transforman en *meta-*

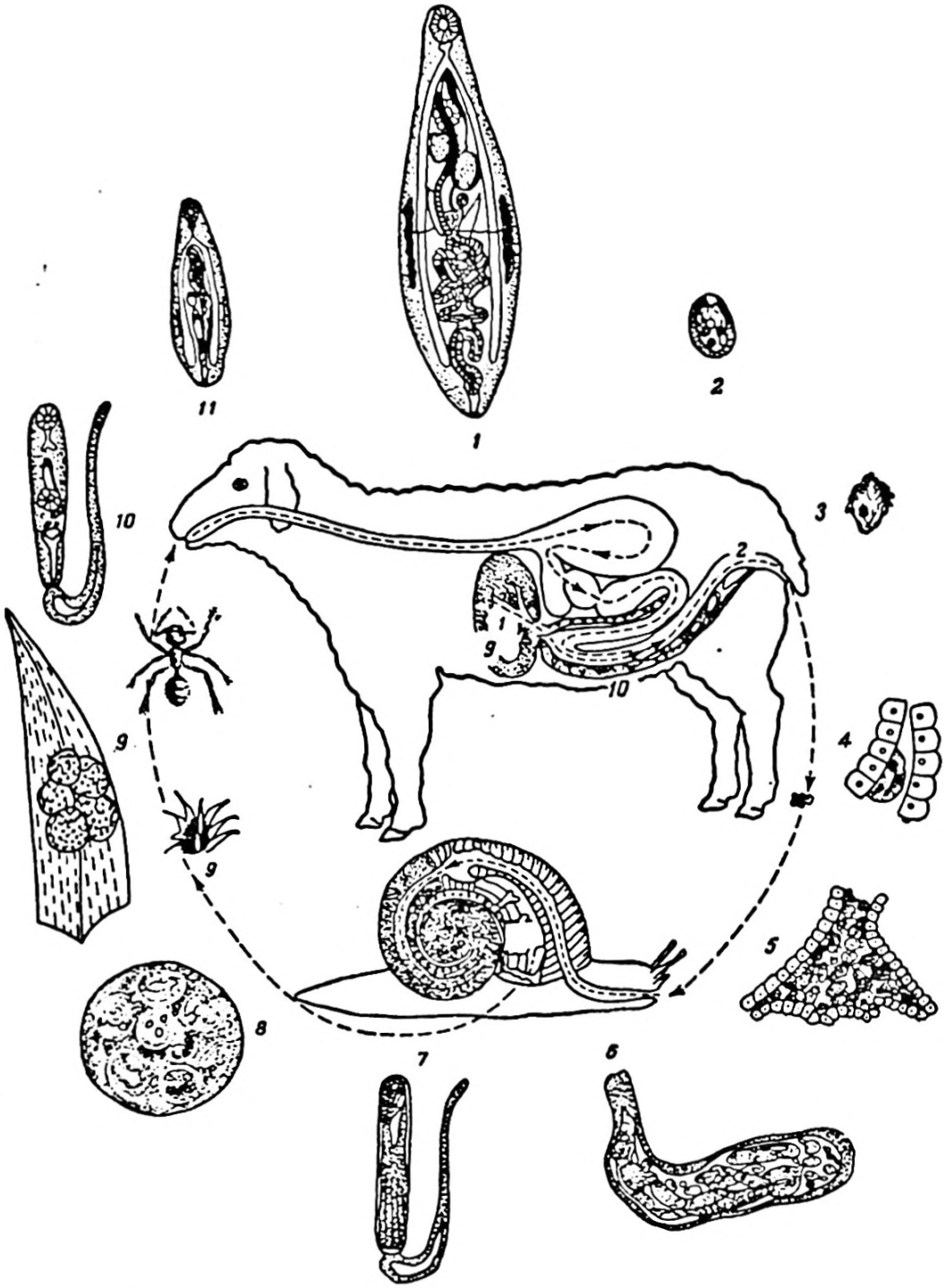


FIG. 183. Ciclo evolutivo del *Dicrocoelium lanceatum* (esquema): 1, trematodo lanceolado; 2, huevo; 3, miracidio; 4, huevo con un miracidio abriendo el opérculo en el intestino de un molusco; 5, esporocisto; 6, redia; 7, cercaria; 8, quistes conjugados; 9, quistes en la superficie de una planta; 10, cercaria saliendo de un quiste conjugado; 11, trematodo joven.

cercarias. La infección del huésped definitivo tiene lugar al ingerir pescado crudo o curado.

El ahumado del pescado, previa su salazón, destruye los parásitos; la congelación no los mata inmediatamente. Es natural que el *Opisthorchis felineus* esté extendido en Siberia, en la región del Obi, donde se come mucho pescado congelado; la población infectada alcanza a veces en aquellos lugares al 85 por ciento.

El parásito ataca la vesícula biliar y los conductos biliares; se observa además un trastorno en el funcionamiento del aparato gastro-intestinal y el desarrollo de una serie de síntomas nerviosos. La acción patológica del *Opisthorchis felineus* es más intensa que la de las formas anteriormente citadas. La enfermedad es crónica y dura frecuentemente varios años, en el transcurso de los cuales se observan agudizaciones periódicas. Como es lógico, la intensidad del ataque depende en parte de la cantidad de parásitos. Se han dado casos de encontrar en el hombre 25,000 trematodos.

Conociendo el ciclo evolutivo del trematodo de los gatos podemos determinar las medidas necesarias para combatir la enfermedad que origina. La profilaxis social consiste en proteger las aguas de su contaminación con heces de personas, animales domésticos y salvajes infectados. Se necesita también un adecuado tratamiento térmico del pescado que se destina a la alimentación; como profilaxis individual se recomienda no comer pescado crudo o curado.

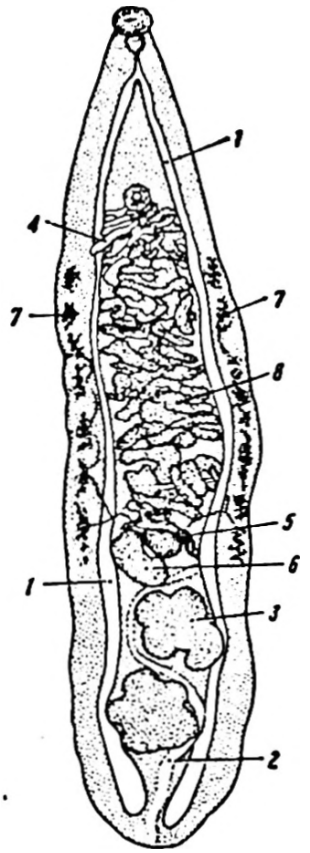


FIG. 184. Trematodo de Siberia (*Opisthorchis felineus*): 1, intestino; 2, canal excretor; 3, testículos; 4, conducto deferente; 5, ovario (debajo de él comienza el útero, 8); 6, bolsa copulatriz; 7, órganos vitelógenos.

En los pulmones del hombre se encuentra el *trematodo pulmonar* (*Paragonimus westermanni*) (fig. 186). Los enfermos padecen tos crónica, siendo su esputo del color de la herrumbre, con sangre a veces. La enfermedad puede semejarse a una tuberculosis pulmonar. Los parásitos atacan también el hígado, el bazo, las paredes del intestino y otros órganos. La infección del hombre se produce al comer cangrejos de río crudos que constituyen el huésped intermedio complementario (el primero son los moluscos).

Es interesante por su dimorfismo sexual el *trematodo de la sangre* (*Schistosoma haematobium*), que se encuentra en Africa, Asia y América del Norte. En la U. R. S. S. se conocen algunos casos, procedentes de otros países. El macho (fig. 187) es más corto, pero más ancho que la hembra; su cuerpo tiene forma de bellota, donde se halla la hembra, más larga, pero más delgada Los Schistosomos habitan en las grandes venas de la cavidad torácica del hombre, en las de los riñones y en la vejiga de la orina. Hacen de huéspedes intermediarios algunos moluscos de agua dulce; las cercarias penetran activamente en la piel de las personas; allí es donde alcanzan su madurez sexual.

Es indudable que el origen de los trematodos guarda íntima relación con el de los turbelarios. Buena prueba de ello es la presencia de muchos caracteres comunes en los representantes de ambos grupos. La pared músculoepitelial del cuerpo y el parénquima se parecen, el plan de organización del sistema nervioso es el mismo, e igual sucede con el sistema excretor protonefridial. Esta semejanza se revela aún con mayor claridad en ciertas fa-

ses larvarias del desarrollo de los trematodos; por ejemplo, el miracidio está cubierto de cilios. Las diferencias entre los dos grupos radican principalmente en la adaptación de los trematodos a la vida parasitaria.

Clase 3ª Cestodos (Cestoidea).

Son parásitos del hombre los representantes de la subclase de los segmentados (Cestoda). Todos los cestodos son obligatoriamente endoparásitos, en los que el modo parasitario de vida se refleja de una manera especial.

Cuando son sexualmente adultos viven en el intestino de los animales y del hombre. El número de especies de estos platelmintos pasa de 1,500.

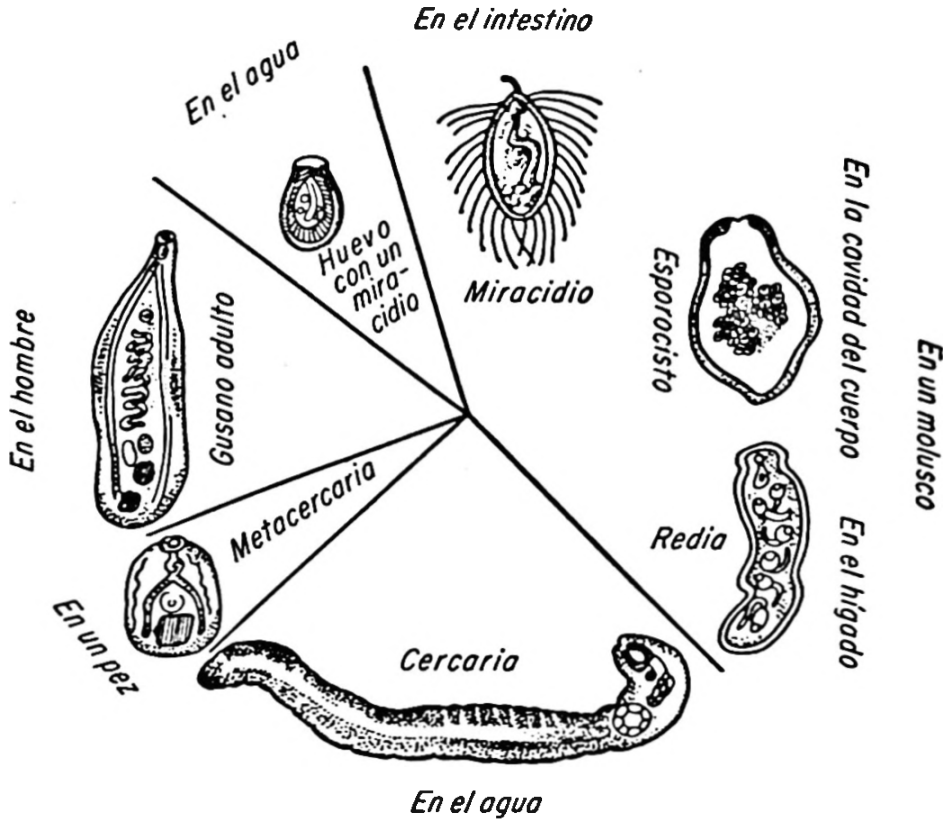


FIG. 185. Ciclo vital del *Opisthorchis felineus*.

Su cuerpo plano es alargado, formando una especie de cinta dividida en un mayor o menor número de segmentos o proglotis. Sus dimensiones oscilan entre 1 mm. y 15 ó 20 m.

En la parte anterior del cuerpo se halla la cabeza o *escolex*, provista de distintos órganos de fijación (ventosas y ganchos); a continuación está el *cuello*, que es insegmentado, y después el cuerpo o *estróbilo*, formado por abundantes *proglotis*, cuyo número varía entre 3 y unos cuantos miles. El crecimiento del platelminto tiene lugar en la región del cuello, donde surgen nuevos segmentos, mientras que los anteriormente aparecidos se van alejando hacia la parte posterior, aumentando de dimensiones y envejeciendo, hasta que se desprenden del estróbilo.

El cuerpo de los cestodos está recubierto de una cutícula. Los músculos y el parénquima no ofrecen rasgos importantes.

La característica fundamental de los cestodos es la total ausencia de

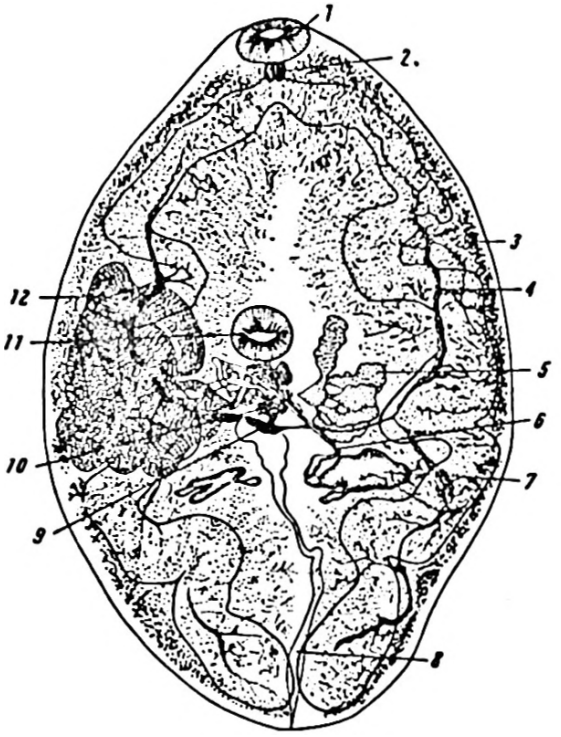


FIG. 186. *Paragonimus westermanni* de los pulmones de un gato (muy aumentado): 1, ventosa oral; 2, faringe; 3, órganos vitelógenos; 4, intestino; 5, ovario; 6, conducto deferente; 7, testículo; 8, canal excretor; 9, viteloducto; 10, corpúsculo de Mehlis; 11, ventosa ventral; 12, útero.

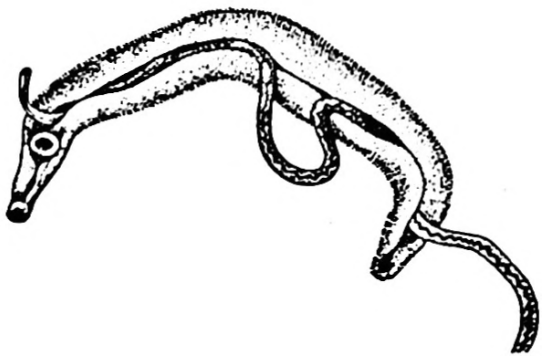


FIG. 187. Trematodo de la sangre (*Schistosoma haematobium*).

aparato digestivo, lo que se relaciona con su vida en el intestino de otro animal, donde están rodeados de alimentos ya digeridos, que ellos absorben a través de toda la superficie de su cuerpo.

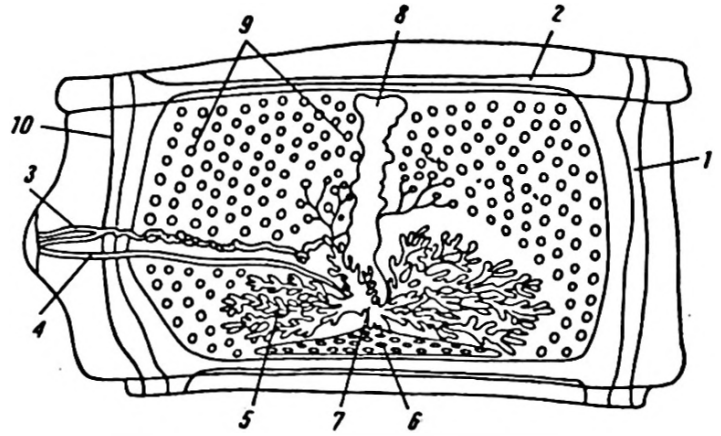


FIG. 188. Proglotis hermafrodita de *Taenia solium*: 1, 2, canales del sistema excretor; 3, conducto deferente; 4, vagina; 5, germígero; 6, vitelógeno; 7, corpúsculo de Mehlis; 8, útero; 9, testículos; 10, cadena nerviosa.

El sistema excretor es protonefridial. Los conductos cruzan todo el cuerpo por el borde de los proglotis, uniéndose en cada segmento mediante puentes.

El sistema nervioso de los cestodos, como sucede siempre en los parásitos, está poco desarrollado. De la comisura cerebral, que une un par de ganglios, parten hacia la parte posterior del cuerpo varios cordones ner-

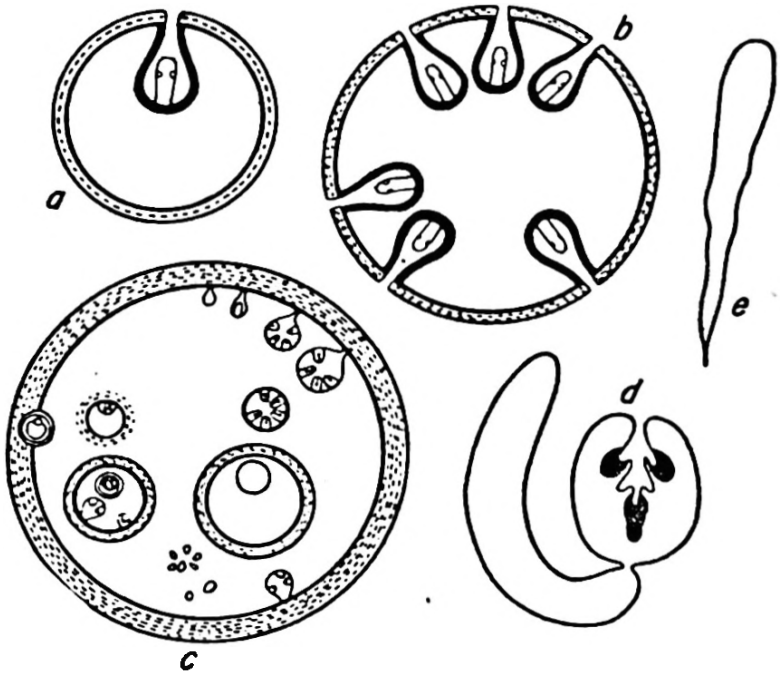


FIG. 189. Esquema estructural de las formas larvarias en los cestodos: *a*, cisticerco; *b*, cenuro; *c*, equinococo; *d*, cisticercoide; *e*, plerocercoide.

viosos, siendo los dos laterales los de mayor desarrollo. Carecen de órganos sensoriales desarrollados anatómicamente; sólo poseen células táctiles, que abundan mucho en las ventosas.

Todos los cestodos, salvo reducidas excepciones, son hermafroditas. El aparato reproductor se caracteriza por su distribución en metámeros a lo largo del estróbilo.

Cada proglotis posee sus órganos sexuales propios, que funcionan independientemente. En los segmentos más jóvenes, que se encuentran detrás del cuello, no hay aún aparato sexual. Un poco después aparecen en los proglotis los órganos del aparato genital masculino y, más adelante, los del femenino; de este modo se origina un aparato sexual completo, de *segmentos hermafroditas,* que funciona adecuadamente (fig. 188). Las partes que integran los aparatos genitales masculino y femenino son las mismas que en los trematodos; únicamente es constante la presencia de una *vagina*, que une el ootipo con el poro genital y sirve para dar paso a los espermatozoides. El útero comienza en el ovario; su otro extremo, o bien sale al exterior o es ciego. En el primer caso los huevos fecundados, que llegan al útero, salen poco a poco del proglotis al intestino del huésped; en el segundo, se acumulan en el útero, que se distiende en divertículos laterales. Para entonces, las partes restantes del aparato sexual terminan de funcionar y se atrofian. De este modo, en los segmentos cercanos al ex-

tremo posterior del estrobilo queda sólo el útero; estos segmentos se desprenden periódicamente uno a uno o por grupos enteros. La ramificación del útero en los proglotis adultos es constante para diferentes cestodos. por lo que su comparación constituye un cómodo procedimiento de diagnóstico.

En el huevo desprendido del cuerpo del cestodo, se halla ya con frecuencia una larva en desarrollo, la *oncosfera* o *hexacanto,* provista de seis ganchos.

El ciclo vital se realiza, en la mayoría de los casos, mediante el paso del huésped intermedio (a veces son dos) al definitivo; son pocas las especies en las que el desarrollo tienen lugar en un solo huésped.

El gusano que habita el intestino del huésped definitivo es sexualmente maduro; sus huevos son expulsados del intestino del huésped junto con las heces. El huésped intermedio ingiere los huevos o las larvas con el agua o la comida; en su intestino se desprende la oncosfera, que, en la mayoría de los casos, penetra en el sistema venoso del huésped y luego en distintos órganos internos (frecuentemente en el hígado y los músculos, a veces en el corazón, los pulmones, etc.). A veces, el desarrollo del hexacanto exige un cambio de huésped. La oncosfera se transforma en la siguiente fase larvaria.

Las larvas pueden tener diferente forma (fig. 189).

1. *Cisticerco.* Está constituído por una vesícula de paredes finas, llena de líquido. En un punto de la pared se forma una depresión, cuyo fondo se diferencia en un escolex, dispuesto hacia dentro de tal manera que al dar la vuelta la vesícula (en el intestino del huésped definitivo), el escolex se desenvagina, surgiendo al exterior con la forma normal, característica del cestodo. Después, la cabeza (el escolex) se adhiere al intestino del huésped, y a partir del cuello comienzan a formarse proglotis.

2. *Cisticercoide.* Consta de una parte anterior voluminosa, con la cabeza vuelta hacia dentro, y una parte caudal.

3. *Cenuro.* Se caracteriza por la presencia de numerosos escolex.

4. *Equinococo* o larva *hidatídica.* Alcanza muy grandes dimensiones. En el interior de la vesícula, llena de líquido, se hallan *vesículas hijas y nietas,* en cuya parte interna se desarrollan *cápsulas prolígenas,* con los escolex hacia dentro.

5. *Plerocercoide.* Se distingue por la falta de una cavidad con líquido; todo el cuerpo de la larva es parenquimatoso. La larva, de forma de gusano, tiene en la parte anterior la cabeza.

Muchas especies de cestodos están relacionados estrechamente con determinados huéspedes, llegando a ser específicos de ellos, es decir, que el parásito tiene como huésped definitivo una determinada especie animal. Por el contrario, hay cestodos que abarcan un amplio círculo de huéspedes.

La acción de los cestodos en el organismo del huésped depende de los rasgos característicos de la especie, de su cantidad, lugar en que se hallen y estado del huésped. El consumo de alimentos en el intestino del huésped puede ser sensible para éste cuando se trata de parásitos de grandes dimensiones. La acción mecánica consiste principalmente en lesiones que alteran la integridad de la mucosa intestinal, al penetrar el escolex, lo que suprime su función de barrera. Los cestodos tienen una influencia patógena sobre el organismo del huésped, con alteraciones en el funcionamiento normal del aparato digestivo y frecuentes anemias. Hay debilidad

y trastornos nerviosos. Las fases larvarias de los cestodos pueden encontrarse en cualquier órgano, y según ello su importancia para el huésped puede ser muy distinta: en unos casos, son inofensivas y pasan inadvertidas, mientras que en otros producen trastornos graves e incluso la muerte.

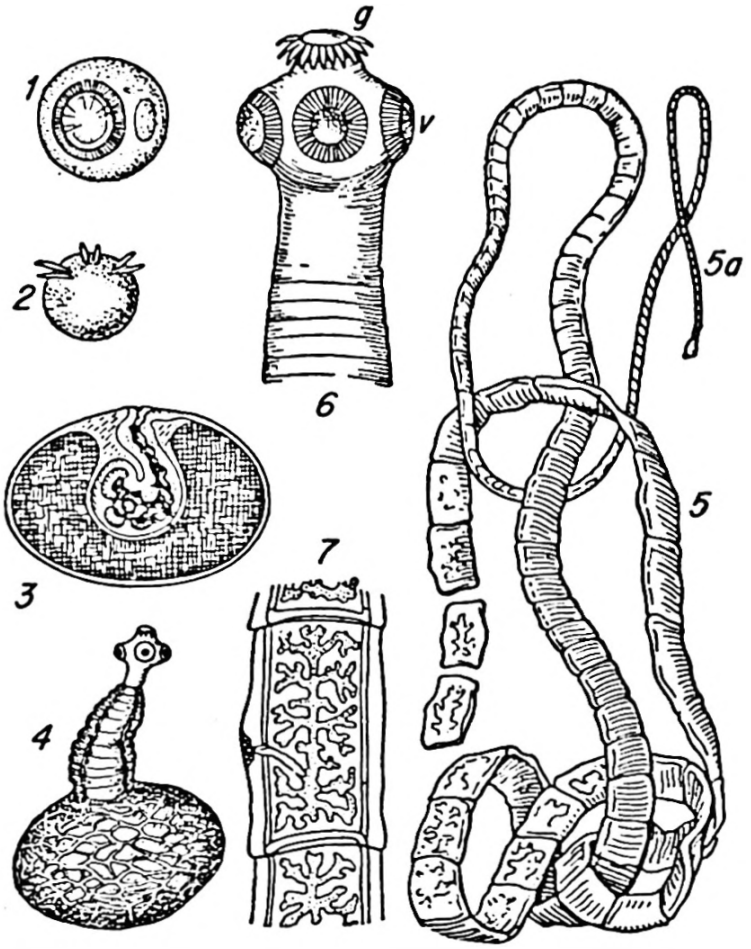


FIG. 190. Solitaria (*Taenia solium*): 1, huevo, con la oncosfera en su interior; 2, oncosfera (hexacanto); 3, cisticerco en sección; 4, larva con el escolex proyectado al exterior; 5, estróbilo; *5a*, escolex; 6, escolex y cuello muy aumentados; *v*, ventosas; *g*, ganchos; 7, proglotis maduro.

Los focos de contaminación para el hombre pueden ser muy distintos. Los cestodos más frecuentes son los siguientes:

La *solitaria* (*Taenia solium*).

El escolex de la *Taenia solium* (fig. 190) está provisto de cuatro ventosas y una prominencia —el *rostellum* o rostro—, con una corona de ganchos. El estróbilo, formado por cerca de 900 segmentos, puede alcanzar de 1,5 a 2 m. de longitud. Los proglotis hermafroditas tienen un sistema genital, que es el típico de todos los cestodos. Un rasgo característico es el ovario formado por un lóbulo más (el tercero), ramificado; el útero, ciego, tiene en los proglotis adultos de 7 a 12 ramificaciones. El huésped definitivo es el hombre; el intermediario, el cerdo, el perro y el jabalí. El cerdo, al hocicar en la basura, ingiere huevos; en su intestino aparecen las oncosferas, que penetran en la sangre, y después en diferentes órganos, donde se transforman en cisticercos. El hombre se infecta al comer carne con

quistes. A veces, el hombre puede hacer también de huésped intermediario; cuando ingiere huevos o cuando éstos pasan del intestino al estómago; las oncosferas, que al vomitar salen por las paredes del intestino, van a parar a diferentes órganos de la persona, donde evolucionan y se convierten en cisticercos.

FIG. 191. Larvas en el cerebro humano: *a*, larvas en el cerebro del hombre; *b*, larva abierta de la *Taenia solium*, sacada de un cerebro humano; se ven el escolex y el cuello vueltos hacia dentro.

La acción patógena de la solitaria en la fase adulta es indudable. Los síntomas de infección son aproximadamente los mismos para todos los cestodos, reflejándose, ante todo, en diferentes trastornos digestivos. El resultado de la larga permanencia del parásito es una debilidad general, cansancio y anemia. La cisticercosis puede ser muy peligrosa cuando las larvas aparecen en los ojos y el cerebro (fig. 191). Se las puede eliminar del organismo tan sólo mediante intervención quirúrgica. La operación, realizada a tiempo, puede poner fin a los fenómenos morbosos, a veces muy graves.

La profilaxis de la *Taenia solium*, lo mismo que de otros cestodos, debe ser individual y colectiva. Es necesario observar en la alimentación las réglas higiénicas y sanitarias y no tomar carne de cerdo medio cruda. La profilaxis colectiva consiste en el control veterinario y sanitario de las reses porcinas y en medidas que imposibiliten a los cerdos ingerir huevos de cestodos.

La *Taeniarhynchus saginatus* se asemeja a la *Taenia solium* en muchos rasgos (fig. 192), diferenciándose de ella por tener el estróbilo de mayor longitud; oscila entre 4 y 10 m. La cabeza tiene cuatro ventosas, pero carece de ganchos. Respecto a la estructura del aparato genital hermafrodita, la *T. saginatus* tiene el ovario bilobular. El útero de los proglótidos maduros presenta de 17 a 35 ramificaciones laterales.

El huésped definitivo de la *T. saginatus* es el hombre; el intermediario, el ganado vacuno. Los proglotis pueden moverse: se deslizan por sí solos a través del esfínter anal y esparcen los huevos en el medio ambiente. El ciclo evolutivo transcurre como en la *Taenia solium*. Los trastornos morbosos de la fase adulta son, en general, semejantes a los causados por la solitaria, pero algo más débiles. Es importante señalar que la *T. saginatus* en estado larvario no vive nunca en el hombre.

Diphyllobothrium latum. Es el mayor de los cestodos. Su estróbilo tiene cerca de 4,000 proglotis, pasando de 10 m. de longitud (fig. 193). El escolex está provisto de dos depresiones adherentes longitudinales o *botridios*. Los proglótidos son más anchos que largos. Su sistema genital consta de las mismas partes que en los restantes cestodos, pero su distribución es

algo distinta. El útero, que se destaca por su forma de roseta y está situado en la parte central del proglotis, tiene un orificio, a consecuencia de lo cual los huevos salen paulatinamente, abandonando el intestino del huésped junto con los excrementos; el útero, que tiene forma de roseta, está situado en la parte central del proglotis.

Pueden actuar de huésped definitivo, aparte del hombre, los perros, gatos, cerdos y otros muchos animales (fig. 194). El desarrollo tiene lugar en el agua, donde sale de los huevos una larva ciliada, el *coracidio,* que se transforma en una *oncosfera* típica al ser ingerida por el crustáceo *Cyclops strenuus* o por el *Diaptomus gracilis,* en cuya cavidad general se convierte en un *procercoide* de forma alargada, que conserva los seis ganchos. Cuando los peces (sollos, lotas, percas, gobios, etc.) —en calidad de huésped intermedio— ingieren los crustáceos infectados, los procercoides se transforman en plerocercoides al pasar de su intestino a los músculos, hígado y otros órganos. Su evolución a la forma adulta tiene lugar cuando el huésped definitivo ingiere pescado infectado crudo o semicrudo.

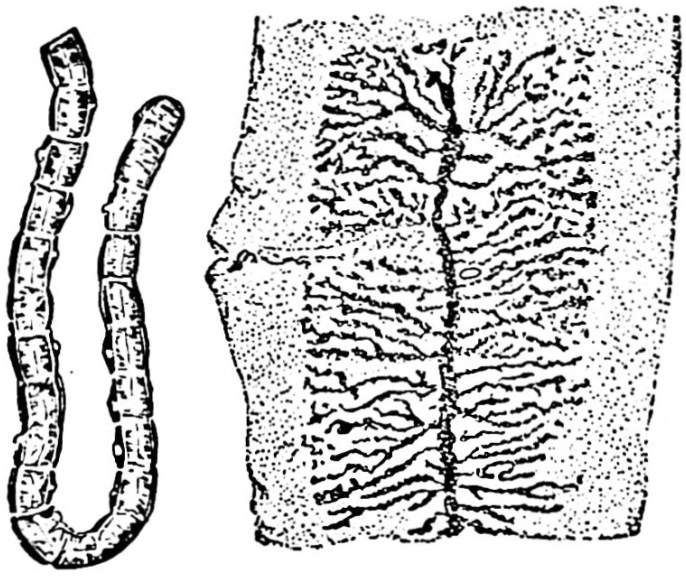


Fig. 192. Parte del estróbilo y un proglotis maduro de *Taeniarhynchus saginatus.* El útero ramificado está repleto de numerosos embriones.

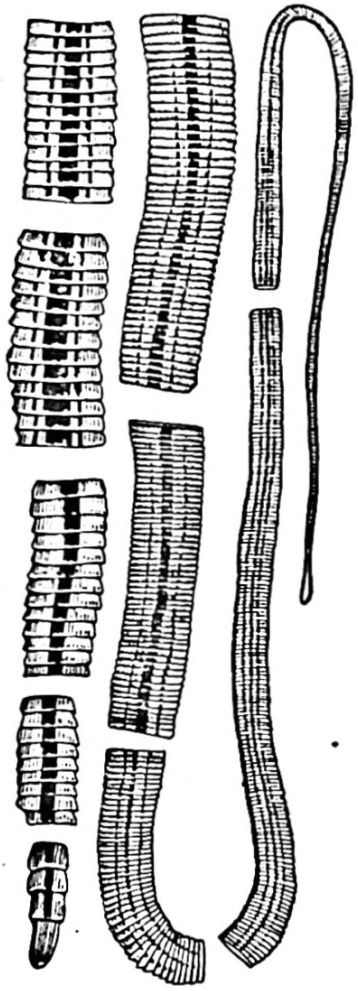


Fig. 193. Estróbilo de *Diphyllobothrium latum.*

Como es natural, la difusión de este parásito dependerá en mucho de la presencia de huéspedes intermediarios y del modo de preparar el pescado que sirve de alimento. En la Unión Soviética este cestodo es frecuente en la región de Leningrado, en Carelia y en Yakutia.

Cuando el *D. latum* es parásito del hombre, se observan trastornos dispépticos, nerviosismo, irritabilidad y debilidad. A veces, la difilobotriosis puede originar una anemia perniciosa, con destrucción de los glóbulos rojos y blancos y alteración de la actividad de la médula ósea. S. P. Botkin fue el primero en suponer que en el origen de esta grave anemia es el sistema nervioso central el que desempeña el papel más importante.

La expulsión de este parásito, lo mismo que otros cestodos, se logra

con extracto de helecho, que produce el debilitamiento de los músculos del platelminto. Se considera expulsada la lombriz cuando ha salido la cabeza; esto se refiere también a otros cestodos.

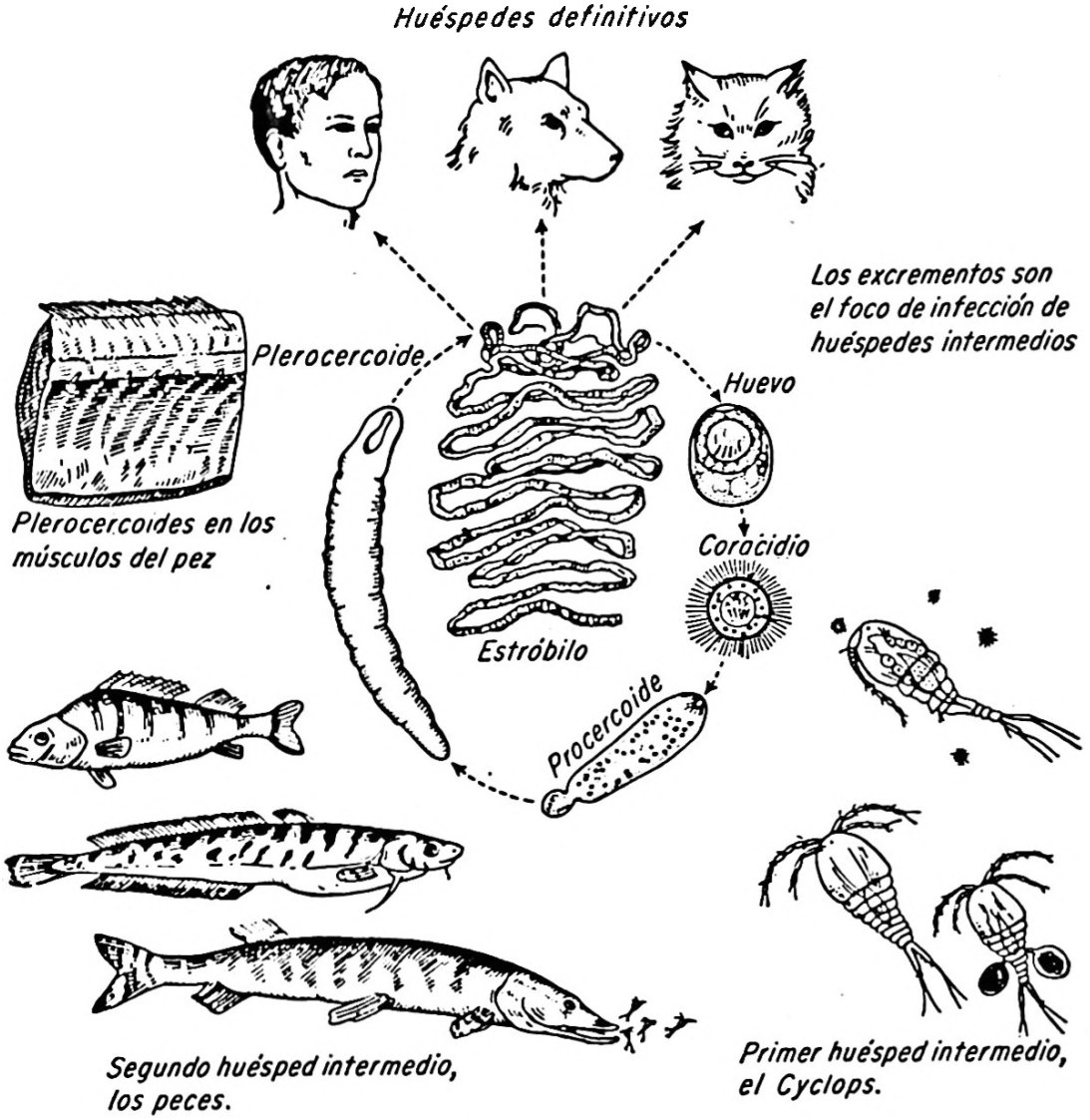


FIG. 194. Ciclo evolutivo del *Diphyllobothrium latum*.

Las medidas profilácticas consisten en evitar el acceso de heces a las aguas. El pescado que sirve de alimento debe estar bien cocido o bien frito. La congelación, salazón y escabechado también matan los plerocercoides. Es necesaria una gran propaganda para que las personas que trabajan en los establecimientos públicos de alimentación tengan profundos conocimientos acerca de los helmintos.

Hymenolepis nana. Se caracteriza por sus dimensiones reducidas (de 1.5 a 3 cm. de longitud). Tiene de 100 a 200 proglotis; su estructura es la típica de todos los platelmintos. Rasgo específico de su ciclo vital (figura 195) es que el hombre es el huésped principal y, al mismo tiempo, el intermediario. Parasita el intestino delgado, en el que se verifica todo su desarrollo. La oncosfera salida del huevo se transforma en las vellosidades

del intestino en una larva del tipo cisticercoide, que al pasar a la cavidad intestinal se desarrolla y adquiere su forma sexual adulta.

Cuando el hombre se lleva a la boca las manos sin lavar o bebe agua contaminada, los huevos expulsados del intestino pueden ir a parar a ella y ser ingeridos. La infección se produce únicamente al tragar huevos acabados de expulsar, ya que éstos mueren con bastante rapidez al secarse. La contaminación es frecuente, sobre todo, en el contacto directo con los enfermos, a través de los objetos de uso común. El efecto patógeno de este parásito es en muchos casos muy agudo: se observan síntomas de intoxicación, trastornos nerviosos, dolores de vientre, adelgazamiento, etc. Generalmente se presentan en gran cantidad (alrededor de 1,500); lo mismo que otros casos, la intensidad de los síntomas depende del número de cestodos.

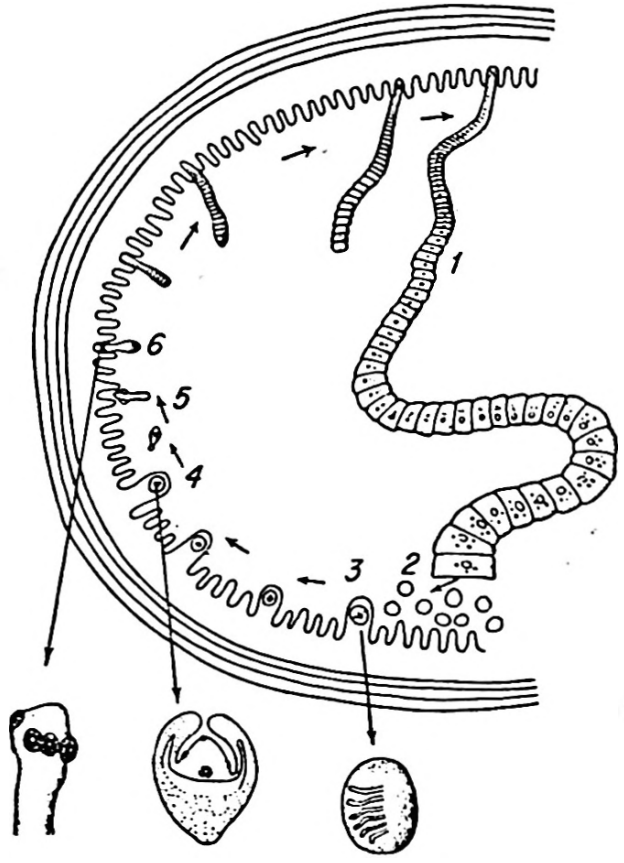


FIG. 195. Ciclo evolutivo de *Hymenolepis nana*, a partir del intestino humano: 1, estróbilo adulto; 2, huevos que han salido del estróbilo y producen embriones hexacantos; 3, oncosfera, en la vellosidad del intestino; 4, transformación del embrión en cisticercoide; 5, el cisticercoide se da la vuelta y va a parar a la cavidad intestinal; 6, el escolex producido se adhiere a la pared del intestino y crece, produciendo un estróbilo. En la parte inferior están representados (con mucho aumento) una oncosfera, un cisticercoide y un escolex.

Equinococo (*Echinococcus granulosus*). Al contrario de los cestodos que acabamos de estudiar, en los que la forma adulta es gigantesca comparada con la fase vesicular, en los equinococos sucede lo contrario (fig. 196). Aquélla tiene de 2 a 7 mm. de longitud y consta de 3 ó 4 segmentos, mientras que la larva alcanza las dimensiones de una manzana y, a veces, de la cabeza de un niño (fig. 197). Hacen de huésped definitivo el perro, la zorra, el lobo y el chacal; pueden ser huéspedes intermedios el hombre y diferentes mamíferos, como el ganado vacuno, las ovejas, camellos, renos y cerdos.

El hombre se infecta al ingerir huevos de equinococos que se le adhieren a las manos luego de haber estado en contacto con la piel del perro. La oncosfera llegada al conducto intestinal va a parar, por el procedimiento común en los cestodos, a diferentes órganos, sobre todo al hígado, los pulmones, riñones, huesos, cerebro, etc., donde se convierte en una vesícula del tipo equinococo. El desarrollo y crecimiento del equinococo son lentos, a veces duran años enteros; la larva cística o hidatídica puede alcanzar proporciones enormes y contiene hasta 16 kg. de líquido. Su pared

es una cutícula exterior, integrada por muchas capas, y una membrana germinativa interior, capaz de producir vesículas hijas, que pueden ser *endógenas* o *exógenas*, es decir, estar orientadas hacia la parte interior de la vesícula *madre*, o abrirse hacia fuera. En las cápsulas prolígeras se forman de 10 a 30 escolex, que están vueltos hacia dentro.

La reproducción exógena origina el aumento de las vesículas del equinococo en los tejidos adyacentes del huésped; la endógena asegura el crecimiento continuo de la hidátida primitiva.

Al crecer, el quiste ejerce presión sobre los tejidos que le rodean, produciendo la atrofia de los órganos. El líquido de la vesícula tiene propiedades tóxicas: actúa sobre la sangre, irrita las membranas serosas y produce

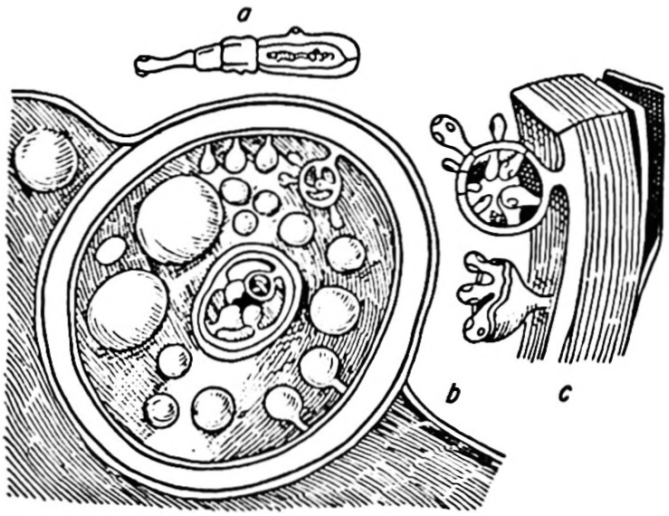


FIG. 196. *Echinococcus granulosus* (*a*) y su fase vesicular (*b* y *c*); *b*, sección de un hidátida con vesículas hijas y cápsulas prolígeras; *c*, fragmento de la pared, muy aumentado, con dos cápsulas prolígeras, y en ellas los escolex.

FIG. 197. Equinococo en el hígado del hombre. Ha sido abierta la larva o quiste hidatídico para que se vean en su interior las cápsulas hijas, de menor tamaño.

urticaria. La intoxicación se revela bruscamente, cuando el líquido sale de la vesícula al estallar o ser perforada.

Sin embargo, aun estando intacto, el equinococo actúa sobre el huésped, dando lugar a cambios en las propiedades de la sangre (resultado de la absorción por parte del organismo de gran cantidad de albuminoides extraños, que segrega el parásito). La equinococosis puede curarse únicamente mediante intervención quirúrgica. Su extensión depende de la abundancia de ganado y de perros y del grado de contacto entre el hombre y éstos últimos. El equinococo es cosmopolita, pero abunda sobre todo entre los pueblos septentrionales, por ejemplo, en Islandia; en la U. R. S. S., se presentan casos de quistes hidatídicos en Siberia.

La profilaxis consiste en observar al comer las debidas reglas de higiene y en guardar precauciones con los perros (no besarlos, no dormir con ellos ni permitirles que toquen los alimentos), así como en perseguir a los perros vagabundos. Es necesaria una severa vigilancia veterinaria en los mataderos.

Los cestodos se han modificado profundamente a causa del parasitismo, por lo que es muy difícil establecer sus relaciones filogenéticas. La ma-

yoría de los zoólogos opinan que los trematodos son los que están más próximos a ellos. También existe la opinión de que los cestodos se relacionan con los turbelarios, punto de vista que tiene cierto fundamento, ya que son muchos los caracteres diferenciales entre la organización de los cestodos y la de los trematodos.

TIPO V. NEMATELMINTOS, GUSANOS CILINDRICOS O DE CELOMA PRIMARIO (NEMATHELMINTHES)

Los nematelmintos constituyen un grupo muy numeroso, que comprende formas de vida libre y parásitos de los animales vertebrados e in-

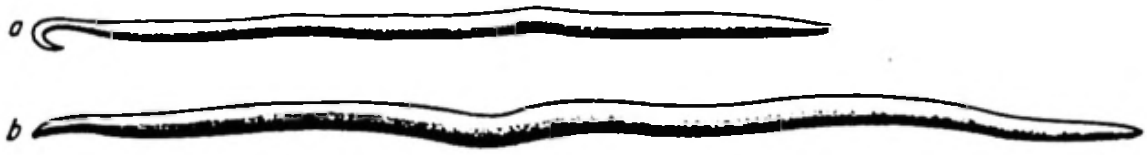


FIG. 198. Ascaris del caballo (*Parascaris equorum*): *a*, macho, con el extremo posterior del cuerpo encorvado hacia la parte ventral; *b*, hembra.

vertebrados; entre ellos los hay también parásitos de las plantas. Los del hombre pertenecen a la clase *nematodos* o *gusanos cilíndricos propiamente dichos* (Nematoda).

El cuerpo de los nematodos es alargado, cilíndrico (su sección es circular) con los extremos puntiagudos, no segmentado y totalmente exento de cilios (fig. 198). Está cubierto de una *cutícula* resistente, formada por varias capas, que representa un potente medio de protección (fig. 199). Debajo de la cutícula se halla la epidermis, conocida en los nematodos con el nombre de *hipodermis;* en los gusanos adultos pierde su estructura celular y forma dentro del cuerpo abultamientos simétricos. Los músculos son únicamente longitudinales y están integrados por una capa de células especiales, los mioblastos, cuyos apéndices protoplasmáticos se prolongan hacia el interior de la cavidad del cuerpo. Esta es *primaria* (*protocele*), procede del blastocele y no está cubierta por un epitelio mesodérmico.

El aparato digestivo (fig. 200) consta de un intestino compuesto de tres secciones: *anterior, media y posterior,* y termina en un *orificio anal;* las secciones primera y última se desarrollan en el proceso embriogénico partir del ectodermo; la intermedia, a partir del endodermo. El intestino comienza con un *orificio oval,* que en algunas formas está rodeado por unos abultamientos o *labios,* o va a parar a una cavidad ensanchada, la *cápsula bucal,* provista de apéndices cuticulares cortantes ("dientes").

El intestino de algunos nematodos ha experimentado una sensible reducción; las *filarias,* por ejemplo, tienen ciego el extremo posterior del intestino, y la triquina posee un intestino que no es más que una simple fila de células grandes atravesadas por un delgado canal. La sencillez del aparato digestivo se debe a la capacidad de los parásitos para utilizar los productos alimenticios del huésped.

El sistema excretor, muy original (fig. 201), es resultado de la modificación de unas glándulas unicelulares cutáneas. Consta, por lo general,

de dos canales longitudinales, colocados a ambos lados del cuerpo, y que se comunican con el exterior mediante un orificio común. En algunas formas (*Ascaris*) los canales excretores son una gigantesca célula. La función excretora la realizan también *células fagocitarias* específicas, en las que se detienen y acumulan diferentes productos insolubles del metabo-

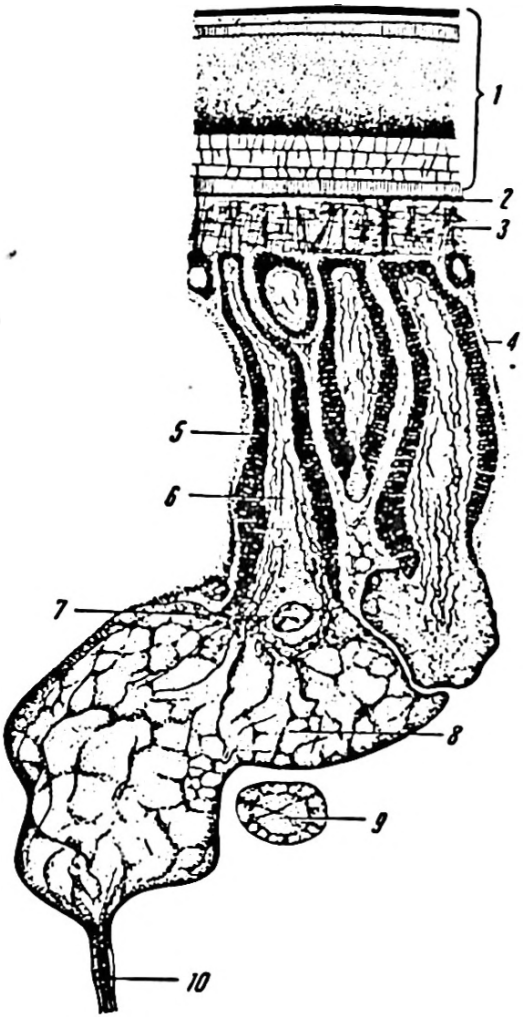


FIG. 199. Pared o túnica músculo-epitelial y células musculares del Ascaris del caballo. Fragmento de una sección transversal de la túnica músculo-epitelial (muy aumentado): 1, cutícula; 2, membrana limítrofe; 3, hipodermis; 4, células musculares; 5, fibrillas contráctiles; 6, sarcoplasma de la parte contráctil del filamento muscular; 7, núcleo; 8, saco sacro-plasmático; 9, el mismo, en sección transversal; 10, apéndice plasmático.

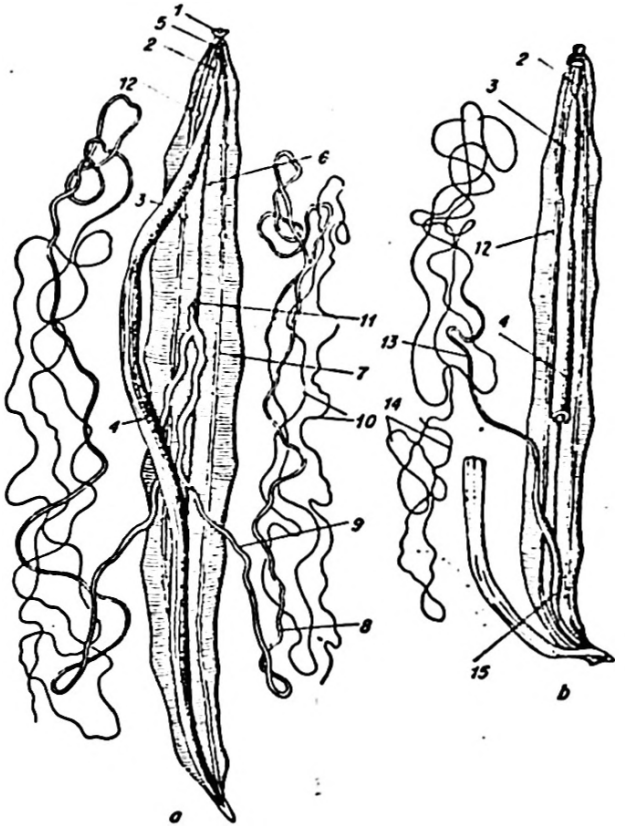


FIG. 200. Ascaris del caballo, abierto por la parte dorsal (reducido): *a*, hembra; *b*, macho; 1, ventosas bucales; 2, faringe; 3, tubo digestivo; 4, intestino medio; 5, collar nervioso esofágico; 6, cordón nervioso ventral; 7, campo lateral del hipodermo con el canal del sistema excretor; 8, oviducto; 9, útero; 10, ovario; 11, vagina; 12, célula fagocitaria; 13, canal deferente; 14, testículo; 15, canal eyaculador, que se abre en el intestino posterior.

lismo, o cuerpos extraños que han penetrado en el organismo, por ejemplo, bacterias. Algunos nematodos (triquineloides gástricos) tienen el sistema excretor protonefridial.

El sistema nervioso es muy primitivo y está casi todo él incluido en el hipodermo; no existen ganglios. Consiste en un *anillo nervioso peri-*

esofágico y varios cordones, siendo el espinal y el ventral los más desarrollados. En lo que respecta a los órganos sensoriales, están presentes los *táctiles*, en forma de abultamientos sensibles, colocados principalmente alrededor de la boca. Los sistemas circulatorio y respiratorio faltan. La respiración es aerobia o parcialmente anaerobia. La primera se realiza a través de la piel; la segunda, mediante la desintegración de los hidratos de carbono (glucógeno), acumulados en el organismo, es decir, por medio de uno de los modos de fermentación.

Los nematodos son en la mayoría de los casos unisexuales. El aparato genital es de estructura tubular; los órganos de la hembra son, por regla general, dobles (dos ovarios, dos oviductos y dos úteros), pero con una vagina; el macho tiene un solo *testículo*, un *canal deferente* y un *conducto eyaculador*. Frecuentemente se observa un diformismo sexual externo: el macho suele ser menor que la hembra y se distingue además por la forma del cuerpo.

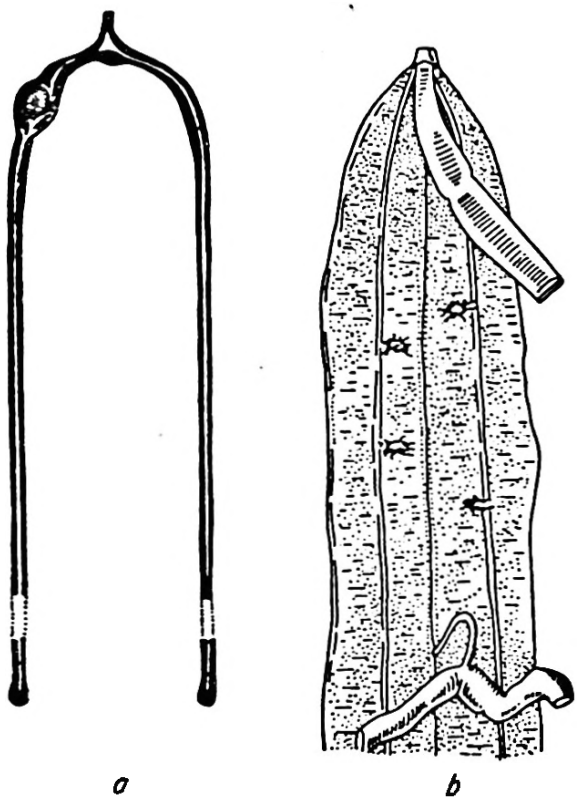


FIG. 201: *a*, sistema excretor del Ascaris del caballo, constituido por una célula gigantesca; *b*, células fagocitarias del Ascaris.

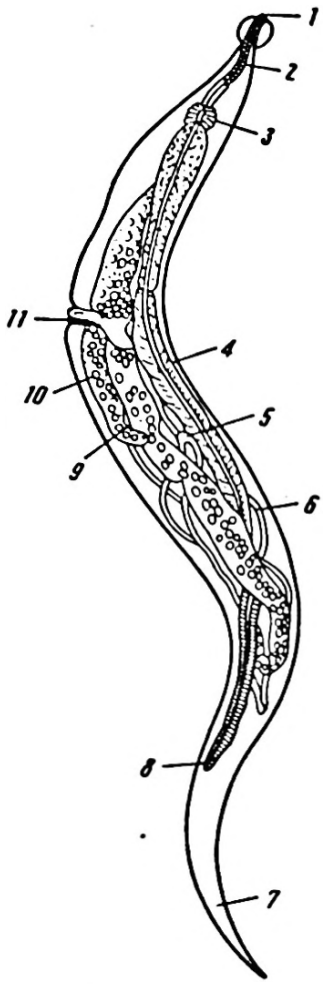


FIG. 202. Oxiuro blanco, hembra (aumentada): 1, boca; 2, tubo digestivo; 3, ensanchamiento del tubo digestivo; 4, intestino; 5, 6, ovario; 7, extremo caudal; 8, ano; 9, 10, útero; 11, orificio sexual femenino (gonoporo).

Los huevos producidos están siempre dentro de un *cascarón*, que a veces es muy resistente. Por lo común, necesitan oxígeno, para su desarrollo, que obtienen mucho mejor los gusanos redondos, que viven libres o son parásitos de los tejidos; algunos son vivíparos. El número de huevos varía: las formas libres no los producen en gran cantidad (en el útero se encuentran en conjunto de 2 a 12), mientras que en los grandes parásitos se cuentan por millones.

Rasgo común de la mayoría de los nematodos parásitos es que el ciclo vital completo no puede llevarse a cabo en el mismo huésped. Es necesaria la infección de otro individuo, o por lo menos que ésta vuelva a repetirse en el mismo huésped, lo que se relaciona con la necesidad de oxígeno para que la evolución se lleve a cabo. Incluso si la larva se desarrolla en el mismo huésped, puede únicamente llegar a madurar en condiciones aerobias de libertad (en el suelo o en el agua) o en otro huésped. Los nematodos nunca se desarrollan en huéspedes intermedios.

Los nematodos que parasitan a los vertebrados se suelen dividir en dos grupos, de acuerdo con su localización en el cuerpo del huésped:

1) los que viven en un *medio isotónico* con ellos (cavidades linfáticas, tejidos, sangre), donde hay una presión osmótica constante, que corresponde más o menos a la presión interna del cuerpo del parásito;

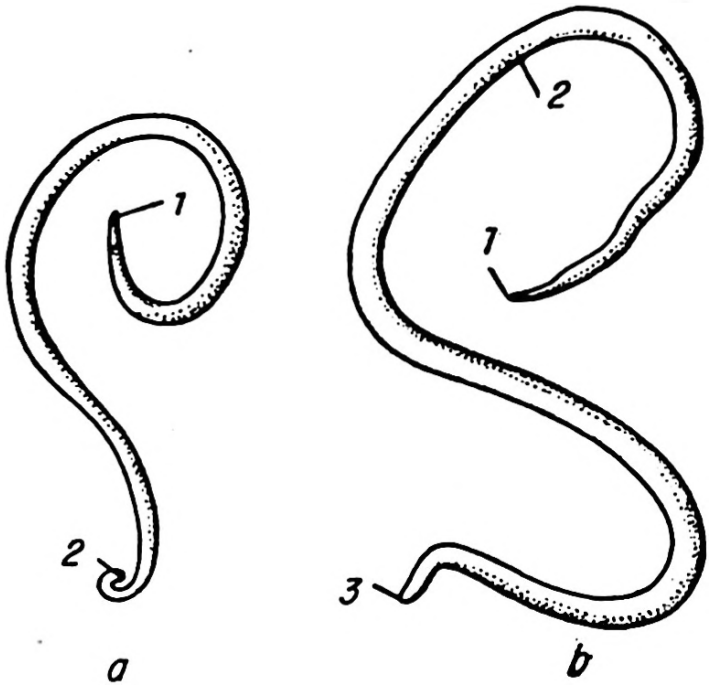


FIG. 203. Lombriz intestinal (*Ascaris lumbricoides*), reducida a la mitad: *a*, macho; *b*, hembra; 1, boca; 2, orificio sexual, que en el macho coincide con el ano (3).

2) los que habitan un *medio anisotónico* con ellos o que por lo menos varía mucho, como sucede en el conducto intestinal y otras cavidades abiertas del cuerpo del huésped.

La mayoría de los nematodos, parásitos del hombre, pertenecen al segundo grupo, es decir, viven en el intestino.

En el intestino ciego y en el grueso parasita el oxiuro blanco (*Entero-*

bius vermicularis). Es un gusanillo pequeño (fig. 202), cuya longitud oscila entre 0.5 y 1 cm., con la estructura clásica de los nematodos. Se nutre del contenido intestinal; estos gusanos no suelen tocar las paredes intestinales, aunque a veces pueden penetrar en ellas. Las hembras fecundadas salen (generalmente por la noche) a través del ano y depositan los huevos en los pliegues perianales; las hembras fecundas ponen cerca de 12,000 huevos. Estos tienen ya un embrión cabezudo, que en el transcurso de 4 a 7 horas se transforma en una larva fusiforme. El gran escozor que producen las picaduras de los gusanos obliga a los enfermos a rascarse, a consecuencia de lo cual los huevos van a parar a las uñas, desde donde pueden ser llevados a la boca e ingeridos; de este modo se asegura la reinvasión o autoinfección (infección repetida). La infección puede producirse a través de los objetos de uso corriente (vajilla, muebles, etc.) y de los juguetes. Un procedimiento posible de penetración es el polvo seco. A las 2 ó 4 semanas de haber sido ingeridos los huevos, la nueva generación de hembras pone otros. La vida del oxiuro blanco en el intestino no pasa de 3 a 4 semanas. A causa de la facilidad con que se repite la infección es necesaria una gran constancia para combatir a estos parásitos. Están muy extendidos, con mayor frecuencia entre los niños. Pueden ulcerar las paredes de la sección inferior del intestino grueso, haciendo posible una segunda infección. La acción fundamental de los oxiuros blancos es la irritación de la zona perianal, que altera el sueño y llega incluso a producir trastornos nerviosos. Pueden presentarse también síntomas estomacales e intestinales de carácter reflejo.

Tienen una gran importancia patógena los nematodos instalados en el intestino medio. Uno de ellos es la *lombriz intestinal (Ascaris lumbricoides).* Es un gusano de gran tamaño, cuya hembra llega a medir 40 cm. (el macho alcanza 20 a 25 cm.) (fig. 203). Las hembras fecundadas ponen los huevos en el intestino del hombre. El desarrollo de la larva en el huevo se realiza *únicamente* en un medio exterior, en el agua o terreno húmedo. Los huevos de áscaris son muy resistentes; se han descrito casos en que conservaron su capacidad vital durante 4 y 5 años. El hombre puede infectarse al ingerir sus huevos (conteniendo larvas) junto con el agua o la comida contaminadas. Las larvas atraviesan las paredes del intestino y van a parar a las venas, siendo arrastradas por la sangre al hígado, al corazón y a los pulmones, cruzan las paredes de los alvéolos, pasan a las vías respiratorias, llegan a la boca y vuelven a ser ingeridas con la saliva. Solamente después de llegar por segunda vez al intestino alcanza el áscaris la madurez sexual. Las larvas pueden penetrar en el sistema de la circulación general y llegar hasta cualquier órgano.

Desde el momento en que se ha ingerido el huevo hasta que en el intestino se desarrollan los áscaris adultos transcurren de 2½ a 3 meses aproximadamente.

Al producirse la migración de las larvas, el enfermo tiene fiebre, su respiración es irregular y frecuente y escupe sangre, presentando el cuadro general de la neumonía focal. La presencia en el intestino de una o dos lombrices puede no ofrecer ningún síntoma, pero su número alcanza a veces decenas e incluso centenares. El máximo, observado en una niña de diez años, es de 1,100. Su permanencia en el intestino da lugar a numerosos fenómenos patológicos: náuseas, a veces vómitos y dolores de vientre. Son frecuentes los síntomas de carácter nervioso (dolores de cabeza, des-

vanecimientos, irritabilidad, etc.). A veces, las lombrices se enroscan y producen la oclusión mecánica del intestino, lo que puede ser también resultado de espasmos reflejos de éste. El peligro es que por el intestino pueden llegar al estómago, y de allí ser expulsadas por vómito. En los niños sucede, a veces, que suben de modo activo por el esófago a la garganta, salen por la boca o por la nariz y descienden por la tráquea, amenazando con la asfixia.

La introducción del áscaris en la pared del intestino puede dar lugar a su perforación, desarrollándose luego la peritonitis. Por lo tanto, los síntomas de la ascaridosis oscilan entre irregularidades indefinidas y poco

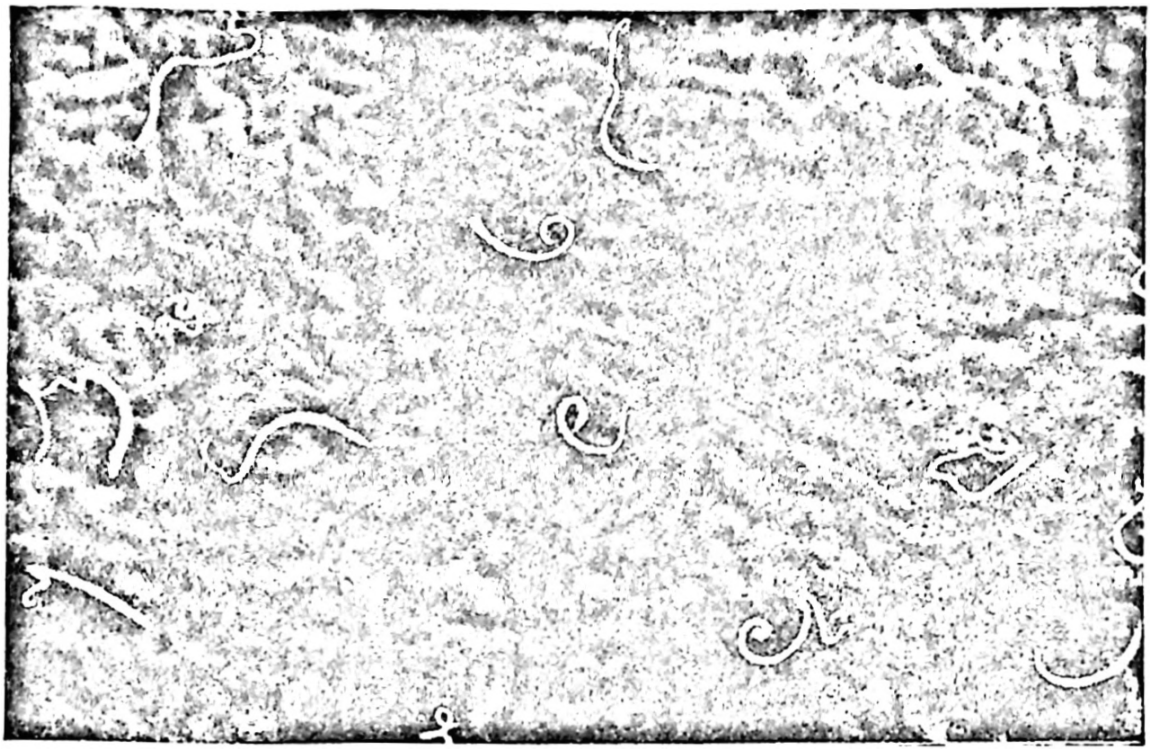


Fig. 204. Tricocéfalos en la superficie del intestino ciego.

importantes del aparato digestivo, a trastornos que ponen en peligro la vida.

Las lombrices intestinales están muy extendidas y son cosmopolitas Los factores principales de su transmisión son el suelo y las verduras, así como el agua y las moscas. Por regla general, el porcentaje de la infección depende del nivel cultural de la población, cosa que también tiene importancia en la propagación de otros parásitos. Esta dependencia guarda relación con las medidas profilácticas, que exigen el cumplimiento de las reglas de sanidad e higiene, la protección del medio exterior contra la suciedad, el tratamiento de las heces que se utilizan como abono, una amplia deshelmintación, etc.

Son de gran importancia patológica los nematodos que se adhieren a las paredes del intestino. Se sujetan por su parte anterior y se nutren por la destrucción de la mucosa o por la sangre que absorben.

El *tricocéfalo (Trichocephalus trichiurus)* es un gusano que mide aproximadamente 50 mm.; vive en el intestino grueso del hombre, especial-

mente en el ciego, penetrando a veces en el apéndice (fig. 204). En ocasiones, su presencia explica casos de apendicitis; con su parte anterior filamentosa se introduce profundamente en la pared del intestino, haciendo posible una segunda infección. El tricocéfalo puede ocasionar trastornos del aparato digestivo, anemia y síntomas de carácter nervioso. En el intestino del hombre puede vivir muchos años.

La evolución transcurre sin huéspedes intermedios y sin migración en el organismo del huésped. Los huevos se desarrollan en el medio exterior

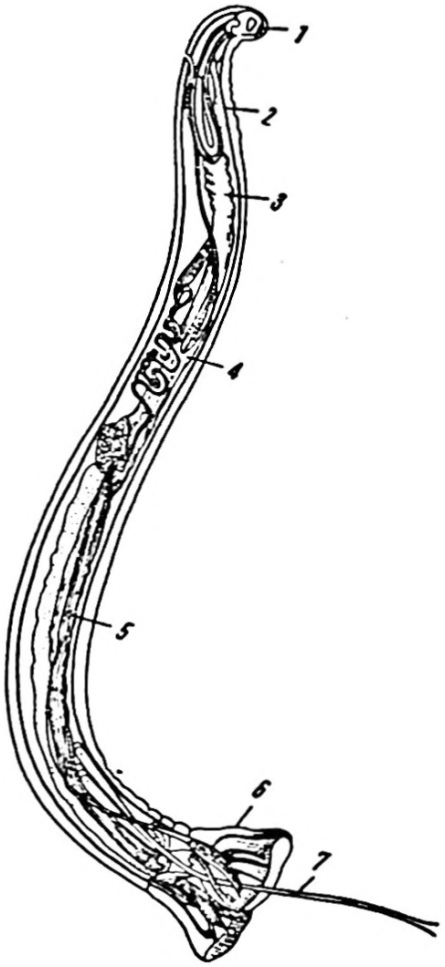


FIG. 205. Anquilostoma duodenal (*Ankylostoma duodenale*, macho aumentado): 1, boca, con dientes; 2, tubo digestivo; 3, estómago; 4, testículo; 5, canal eyaculador; 6, bolsa copulatriz; 7, espículas.

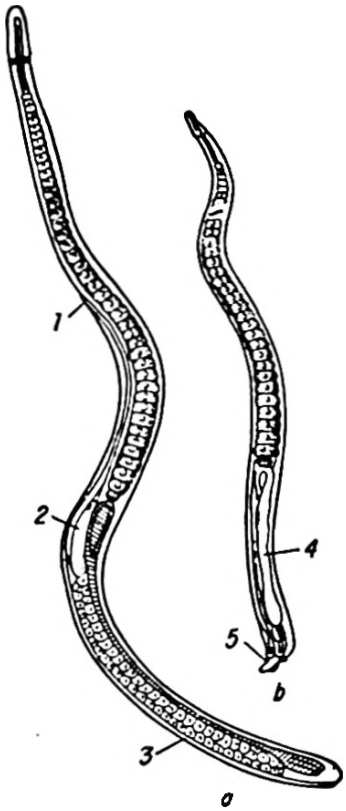


FIG. 206. Triquina (aumentado): *a*, hembra casi adulta; *b*, macho. 1, orificio sexual femenino; 2, útero; 3, ovario; 4, testículo; 5, cloaca genital.

(el desarrollo se prolonga, según la temperatura, de 18 días a 2 y 3 meses). Las larvas salen únicamente en el caso de que los huevos sean ingeridos por el hombre, junto con comida contaminada (verduras crudas sin lavar y frutas).

El tricocéfalo está muy extendido, pero el porcentaje de infección de la población oscila mucho. El modo de combatirlo es el mismo que en los ascáridos: higiene personal y medidas conducentes a evitar que los huevos del parásito se incorporen al agua y al suelo.

Son mucho mayores las lesiones que producen los nematodos provistos

de cápsula bucal. Con su ayuda se adhieren a la mucosa y chupan la sangre. Uno de ellos es el *Anquilostoma duodenal (Ankylostoma duodenale)*, parásito del intestino delgado del hombre (fig. 205). Allí pone al día de 5,000 a 10,000 huevos, que se desarrollan en los terrenos húmedos. La humedad y el oxígeno son factores decisivos para el desarrollo de las larvas. La larva que sale del huevo pasa por diferentes fases, verifica varias mudas, después de lo cual puede penetrar directamente en la piel del hombre (invasión percutánea). Al llegar a las venas realiza el mismo camino migratorio que la larva del áscaris, aunque sin pasar por el sistema porta-hepático. Los síntomas de la enfermedad se revelan ya durante la migración de las larvas. En los lugares por donde penetran en el cuerpo se siente una picazón, siendo posible la aparición de úlceras y eczemas. Hay complicaciones pulmonares, en forma de bronquitis y a veces edemas. Los enfermos de anquilostomiasis pueden presentar síntomas gastrointestinales: náuseas, dolores de vientre, irregularidades en la evacuación.

Una de las manifestaciones más importantes de la invasión es una gran anemia. Sufre mucho el sistema nervioso: dolores de cabeza, neurastenia, amnesia y disminución general de las facultades mentales. Los niños enfermos de uncinariosis son retrasados, tanto física como mentalmente: un joven de veinte años se asemeja a veces a un niño de 12 ó 13. Se frena también la madurez sexual.

Los anquilostomas están muy extendidos, especialmente en los países templados y cálidos; en la U. R. S. S., aparecen en Georgia, Armenia, Azerbaidján, en algunos lugares de Asia Central y en Extremo Oriente. Se infectan con preferencia las personas que permanecen en contacto con la tierra. La anquilostomosis se combate manteniendo limpio el terreno y mediante una deshelmintización masiva.

Al anquilostoma se asemeja mucho por su estructura y modo de vida otro nematodo, el *Necator (Necator americanus)*.

La *triquina (Trichinella spiralis)* pertenece a la misma categoría de parásitos intestinales, pero parte de su vida transcurre en los músculos. Las triquinas sexualmente adultas son pequeños gusanos de 3 a 4 mm. (figura 206), que viven parásitos en el intestino del hombre y de los animales (cerdos, roedores caseros y de campo y animales carnívoros).

Las hembras fecundas penetran en la mucosa del intestino y llegan a los quilíferos, donde nacen varios miles de larvas, que, arrastradas por la sangre y los vasos linfáticos por el cuerpo, se introducen en las fibras de los músculos voluntarios. En ellos, las triquinas jóvenes crecen, destruyen las fibras, se enrollan en espiral y se enquistan en una cápsula, en la que con el tiempo se depositan sales de calcio. La triquina puede conservarse así durante años en el estado de vida latente, muriendo junto con el huésped; si la carne infectada es ingerida por otro huésped de la misma especie o de otra conveniente, su ciclo vital comienza de nuevo (fig. 207). El hombre se infecta cuando ingiere carne de cerdo triquinoso; en el hombre, las triquinas están destinadas a morir.

Para que se realice totalmente su ciclo vital la triquina tiene que cambiar de huésped, pero en cualquier de sus posibles huéspedes pasa por su fase larvaria (muscular) y de madurez sexual (intestinal), es decir, que en este caso no puede hablarse de definitivo o intermedio.

La triquinosis es una enfermedad grave, con síntomas generales que recuerdan las enfermedades infecciosas agudas; puede durar hasta 1½ me-

ses. La penetración de las larvas en los músculos va acompañada de dolores. Con frecuencia se observan lesiones en el tejido muscular del corazón y fenómenos de miocarditis.

Como para el hombre el foco principal de infección es la carne de cerdo, la profilaxis consiste en un cuidadoso control veterinario, con la destrucción obligatoria de la carne triquinosa. En los casos de triquinosis muy intensa, 1 gr. de carne de cerdo llega a contener 15,000 triquinas. También hay que mantener los cerdos en condiciones de vida higiénicas; es importante destruir los roedores. Existe la opinión de que en la epidemiología de la triquinosis tienen importancia los focos naturales de esta enfermedad, donde los agentes vectores de la invasión son también muchas alimañas (las ratas, sobre todo).

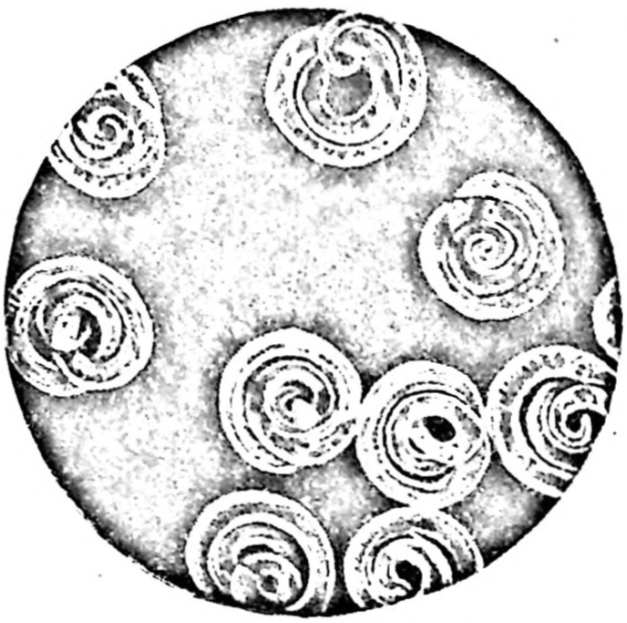


Fig. 207. Triquinas musculares que, bajo la acción de los fermentos digestivos, se han liberado de la cápsula (al microscopio).

Otro grupo de nematodos vive en medios isotónicos con ellos, que se caracterizan por una constancia incomparablemente mayor. A este grupo pertenece, entre otros, la *filaria de Bancroft* (*Filaria bancrofti*), que vive especialmente en los ganglios y vasos linfáticos. La obstrucción de los capilares linfáticos da lugar a la inflamación de las paredes de los vasos y al estancamiento de la linfa, provocando una extraordinaria hinchazón, "elefantiasis", de diferentes partes del cuerpo (fig. 208). Las hembras producen enormes cantidades de pequeñas larvas, que aparecen durante la noche en la sangre periférica. Las larvas se transmiten por intermedio de diferentes mosquitos hematófagos. En la U. R .S. S. se encuentran casos aislados de filariosis en Asia Central.

Fig. 208. Elefantiasis. producida por la filaria de Brancroft.

Por último, conviene recordar la *filaria de Medina* (*Dracunculus medinensis*) (fig. 209), extendida en los trópicos, y que hasta no hace mucho existía en Asia Central. Tiene la forma de un hilo blanquecino que mide hasta un metro de largo. Da origen a abscesos subcutáneos dolorosos, que después se revientan; de la hembra que hay en su interior nacen larvas vivas. Su desarrollo transcurre en el agua, en un huésped intermedio, el crustáceo *Cyclops*. El hombre se contamina de este parásito al be-

ber agua donde hay *Cyclops*. El estudio detallado, realizado por Fedchenko, de su ciclo evolutivo y la ulterior aplicación de un complejo de medidas de lucha (bajo la dirección de L. M. Isáev) ha traído consigo la destrucción total de este parásito en su foco originario, en Stáraia Bujará.

Fig. 209. Filaria de Medina, hembra (reducida).

Entre los variados gusanos redondos libres ofrece gran interés la clase *gasterotricos* (*Gastrotricha*) (fig. 210). Son formas muy pequeñas, que viven en el agua. Una serie de caracteres (intestino recto, cavidad primaria del cuerpo) los aproxima a otros nematodos. Pero, al mismo tiempo, poseen rasgos comunes con los turbelarios (envoltura ciliada, semejanza en la estructura del aparato genital, sistema excretor protonefridial). Todas estas características tienen importancia en cuanto al problema de la filogenia de los nematelmintos, que hasta hoy no ha sido resuelto. Ello se debe a que los nematodos tienen una organización muy original, que los diferencia profundamente de otros tipos. Sin embargo, basándonos en los datos que ofrece la estructura de los *Gastrotricha*, podemos considerar muy probable la relación entre los nematodos y los turbelarios.

Al estudiar los platelmintos y nematelmintos, prestábamos atención fundamental a las formas parásitas, *helmintos* o *lombrices intestinales*. La rama de la Parasitología que se ocupa de su estudio lleva el nombre de *Helmintología*, ciencia que estudia la biología de los gusanos parásitos, su propagación, sus propiedades patógenas, y las medidas de profilaxia y lucha. La helmintología ha alcanzado un gran desarrollo, especialmente en la U. R. S. S., sobre todo gracias a los trabajos del académico K. I. Skriabin y de sus discípulos.

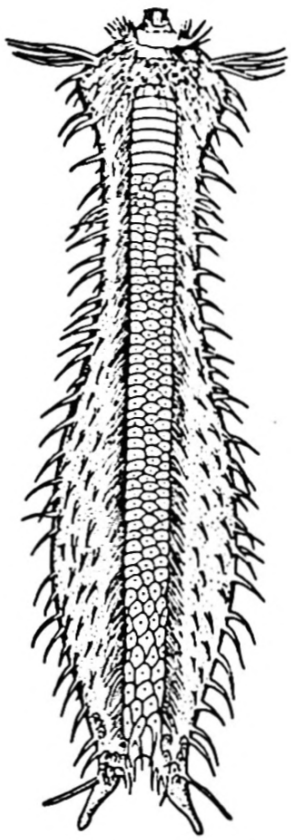


Fig. 210. Gasterotrico (muy aumentado).

La U. R. S. S. es el único país donde se llevan a cabo con carácter masivo medidas de saneamiento encaminadas a combatir los parásitos. Existe una serie de detalladas instrucciones que les sirven a los médicos de guía. Ha sido elaborado un sistema completo de medidas profilácticas diversas. La profilaxia moderna constituye un complicado concepto, ya que opera con dos métodos diferentes de medidas sanitarias. Estos métodos pueden analizarse partiendo de los conceptos de "ofensiva" y "defensiva". Los métodos de la profilaxia ofensiva activa los denomina el académico Skriabin *devastación*. Destruyen los agentes de la enfermedad en todas las fases de su ciclo vital, con ayuda de todos los procedimientos de acción mecánica, química, física o biológica que estén al alcance. La profilaxia defensiva o pasiva tiene por objeto evitar la infección del hombre y de los animales, protegerlos del contacto con los parásitos, no actuando sobre el causante de la enfermedad, sino sobre los hombres

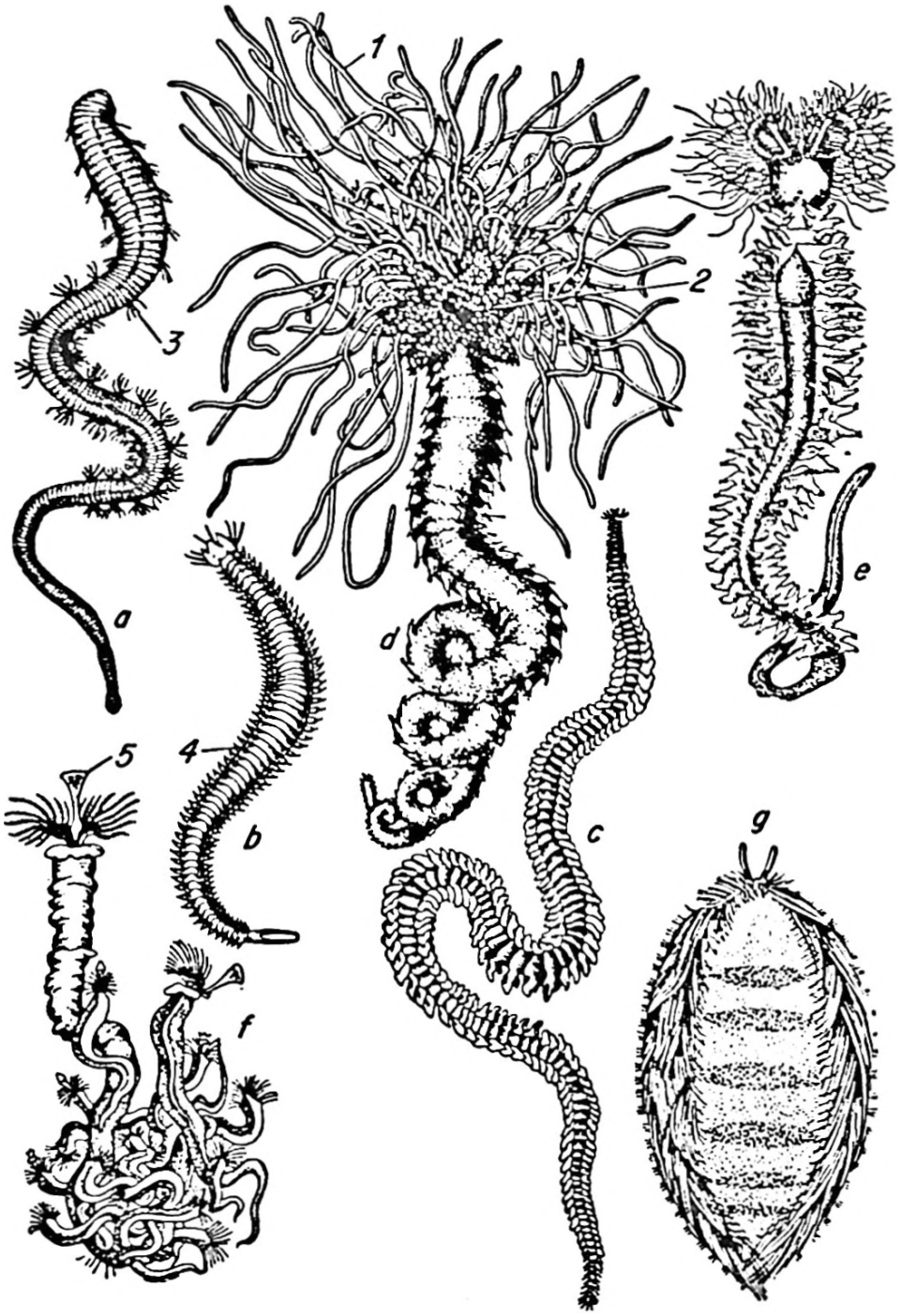


FIG. 211. Anélidos poliquetos: *a*, *Arenicola marina* (forma cavadora); *b*, *Nereis pelagica* (forma perteneciente al bentos); *c*, *Phyllodoce paretti* (forma perteneciente al necton); *d*, *Amphitrite edwardsi* (forma sedentaria); *e*, *Sabellaria alveolata*; *f*, *Serpula* (forma sedentaria); *g*, *Aphrodite aculeata* (forma reptante); 1, tentáculos; 2, 3, branquias; 4, parápodos; 5, escudo.

y animales que pueden ser atacados. Cuando las complejas medidas relacionadas con todas las particularidades del ciclo vital del parásito se llevan a cabo en forma planificada y perseverante es posible la destrucción total o parcial del parásito. Un brillante ejemplo de la eficacia de tales métodos lo ofrece la desaparición en la U. R. S. S. de la filaria de Medina.

TIPO VI. ANELIDOS O GUSANOS ANILLADOS (ANNELIDES)

Los gusanos comprendidos en este tipo, cuyas especies ascienden a más de 7,000, poseen una organización mucho más elevada que los platelmintos y los nematelmintos. Los caracteres que diferencian a los anélidos son: la *segmentación* del cuerpo, la presencia de una *cavidad general* (*celoma*), de un *sistema vascular sanguíneo,* de órganos de excreción del tipo *metanefridial* y, en algunos de ellos, la presencia de *órganos respiratorios* y órganos de movimiento (*parápodos*).

Los representantes más importantes de las tres clases de anélidos son: los *poliquetos* (Polychaeta); los *oligoquetos* (Oligochaeta) y los *hirudíneos* o *sanguijuelas* (Hirudinea).

Clase 1ª Poliquetos (Polychaeta).

Es la clase más rica en especies. La integran formas marinas libres, tanto errantes como sedentarias; se distinguen por su gran variedad (fig. 211). Los poliquetos tienen muy marcado el rasgo característico de los anélidos, la segmentación o *metamería,* que consiste en la repetición de partes iguales a lo largo del cuerpo. Este lo constituyen anillos, *segmentos* o *metámeros,* que contienen aproximadamente los mismos órganos; semejante metamería recibe el nombre de *homónoma.* Se diferencian únicamente los segmentos de la parte anterior y posterior del cuerpo, el prostomio y el segmento anal.

Lo más característico de los restantes segmentos es la presencia en ambos lados del cuerpo de penachos pareados de sedas o cerdas insertados en unos abultamientos musculosos del cuerpo, los parapodos. Los parapodos, que son como extremidades rudimentarias, constan de dos lóbulos o remos, uno dorsal, o notopodio, y el otro ventral, o neuropodio, con una base común. Sus movimientos son sencillos y uniformes: se alargan, se sujetan con ayuda de las sedas a las irregularidades del substrato y hacen avanzar así el cuerpo del gusano.

El cuerpo está cubierto por una cutícula, a la que sigue una túnica músculo-epitelial (fig. 212). Los músculos están recubiertos en su parte interior por un epitelio *celomado mesodérmico,* que limita la cavidad general del cuerpo. Septos o tabiques intermetaméricos dividen transversalmente el celoma en partes, que corresponden a la segmentación externa del gusano.

El aparato digestivo está más diferenciado que en los nematelmintos y se divide en varias secciones. Muchas formas tienen en la parte interior de la faringe "dientes" cuticulares, que sirven para apoderarse de la presa.

En la faringe desembocan las llamadas glándulas *salivales.* La pared del intestino es complicada: en ella hay una capa de músculos, que asegura su movimiento peristáltico independiente. El intestino recto se comunica con el exterior por el orificio anal.

Los anélidos poseen *aparato circulatorio.* Es cerrado y consta de dos vasos principales, el dorsal y el ventral, que se unen por anastomosis transversales. La circulación de la sangre se realiza gracias a las contracciones rítmicas del vaso dorsal, que fisiológicamente corresponde al corazón de

los animales superiores. La sangre de los anélidos está teñida frecuentemente de rojo, debido a la presencia de un producto que contiene hierro, muy semejante a la hemoglobina de la sangre humana.

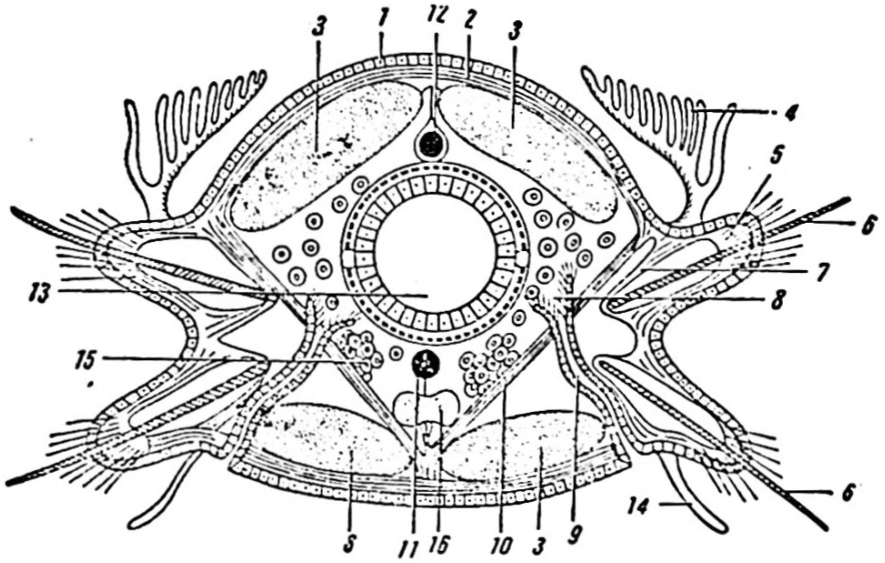


FIG. 212. Sección transversal (esquemática) de un anélido poliqueto: 1, cutícula; 2, músculos anulares; 3, músculos longitudinales; 4, branquias; 5, lóbulo dorsal del parápodo; 6, acícula; 7, músculos del parápodo; 8, embudo del nefridio; 9, canal del nefridio; 10, músculos oblicuos; 11, vaso sanguíneo ventral; 12, vaso sanguíneo dorsal; 13, intestino; 14, cirro ventral; 15, ovario; 16, cordón nervioso.

Muchos poliquetos tienen también *branquias* respiratorias especiales, que aparecen por vez primera en los gusanos segmentados.

Su aparición está relacionada, sin duda, con el desarrollo del aparato circulatorio. El aparato circulatorio distribuye por el cuerpo los productos nutritivos y el oxígeno

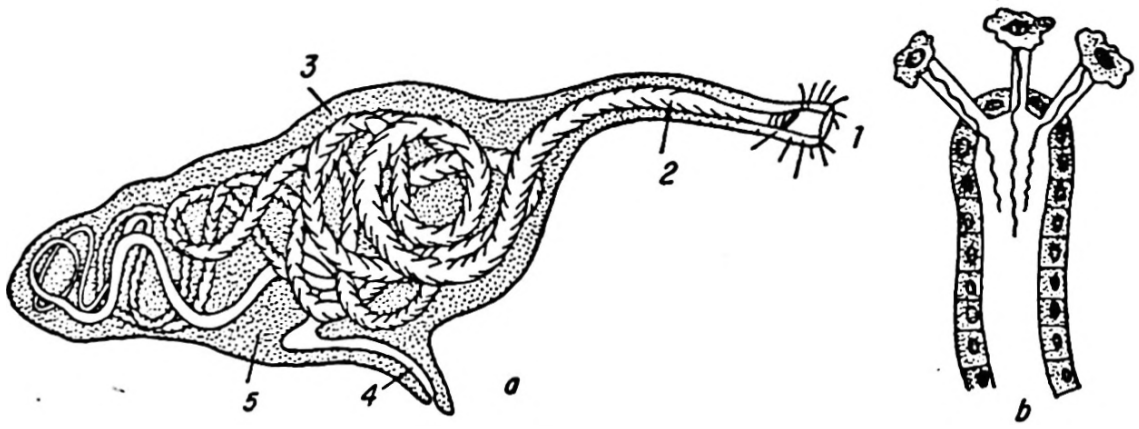


FIG. 213. Organos excretores de los poliquetos: *a*, metanefridio del *Nereis; b*, solenocitos de los poliquetos; 1, embudo, orientado hacia la cavidad general; 2, comienzo del canal excretor, en el lugar en que atraviesa el tabique intersegmentario; 3, sección de canal excretor con los cilios vibrátiles; 4, poro excretor, con la sección de canal excretor adjunto a él; 5, cuerpo del metanefridio; 6, metanefridio con los solenocitos.

y asegura su transmisión de unas partes a otras. El transporte del oxígeno por el cuerpo hace posible el paso de la respiración difusa a la localizada, al intercambio gaseoso que no se realiza a través de toda la superficie del cuerpo, sino únicamente en determinadas partes de él especializadas en este sentido: los órganos respiratorios.

Las branquias se desarrollan a partir de los cirros dorsales de los parápodos, que se ramifican; tienen paredes delgadas y poseen una red de vasos sanguíneos.

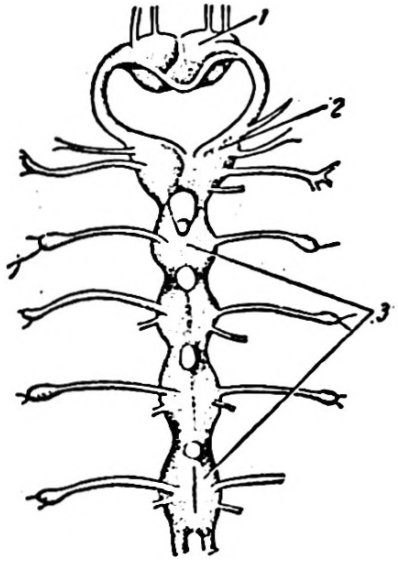


FIG. 214. Estructura del sistema nervioso del poliqueto *Phyllodoce laminosa*: 1, ganglios nerviosos supraesofágicos; 2, ganglios nerviosos subesofágicos; 3, ganglios de la cadena nerviosa ventral.

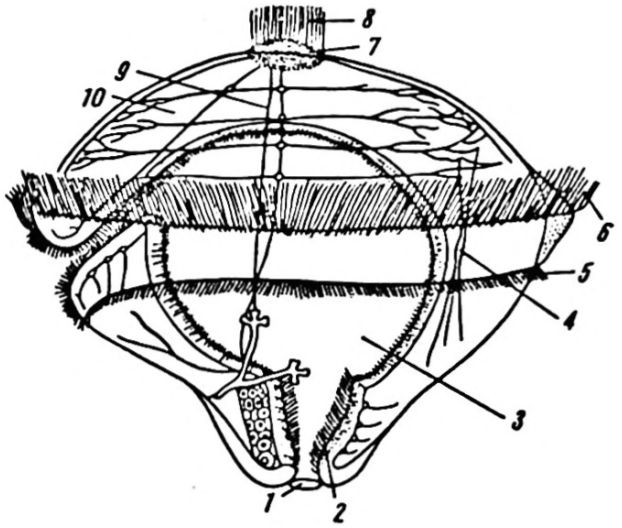


FIG. 215. Larva tracófora del anélido *Polygordius*: 1, orificio anal; 2, recto; 3, estómago; 4, 9, 10, músculos; 4, corona postoral de cilios; 6, corona preoral de cilios; 7, placa apical; 8, penacho de cilios.

El sistema excretor está representado, en la mayoría de las formas, por *metanefridios*, tubitos que describen curvas y circunvoluciones, con orificios en ambos extremos (en la parte exterior y en el celoma). El que da a la cavidad del cuerpo posee un embudo ciliado o pabellón (fig. 213).

Los metanefridios, que se diferencian profundamente de los protonefridios de los platelmintos, se relacionan con ellos por medio de una serie de eslabones transitorios. Ante todo, hay que señalar que las larvas de la mayoría de los anélidos poseen un par de verdaderos protonefridios. En los poliquetos adultos también podemos encontrar protonefridios transformados, los canales excretores (semejantes a los metanefridiales), que no terminan en un embudo, sino que son ciegos; en ellos se encuentra un hacecillo de células especiales, los *solenocitos*, en cuyos canalillos internos hay unos largos flagelos rizados. La semejanza de los solenocitos con las células flamígeras del sistema protonefridial es evidente. La atrofia del manojo de solenocitos puede dar lugar a que estos órganos se transformen en metanefridios.

El sistema nervioso consta de ganglios *supraesofágicos* e *infraesofágicos*, en número par, unidos por comisuras; poseen un *collar esofágico*. A lo largo del cuerpo se extiende la *cadena nerviosa ventral* (fig. 214).

De esta manera, y por concentración longitudinal y transversal de dos cordones nerviosos que se hallan a ambos lados del cuerpo (como sucede

en los platelmintos), se forma un sistema nervioso en cadena; la forma intermedia del tipo de *escalera nerviosa* la presentan ciertos poliquetos. La transición de los gusanos planos a los anillados se ve claramente.

La complicación del sistema nervioso se refleja también en el hecho de que éste pase del epitelio cutáneo al interior del cuerpo, a su cavidad.

Los órganos sensoriales de los poliquetos son bastante variados; tienen órganos táctiles, visuales, de equilibrio y de sensación química (en parte gustativos y en parte olfativos).

Los poliquetos son unisexuales. El aparato sexual es de constitución simple. El desarrollo del huevo fecundado va acompañado de metamorfosis. Se desarrolla una larva *trocófora,* que se caracteriza por la presencia de cilios, que forman bandas o coronas. (fig. 215).

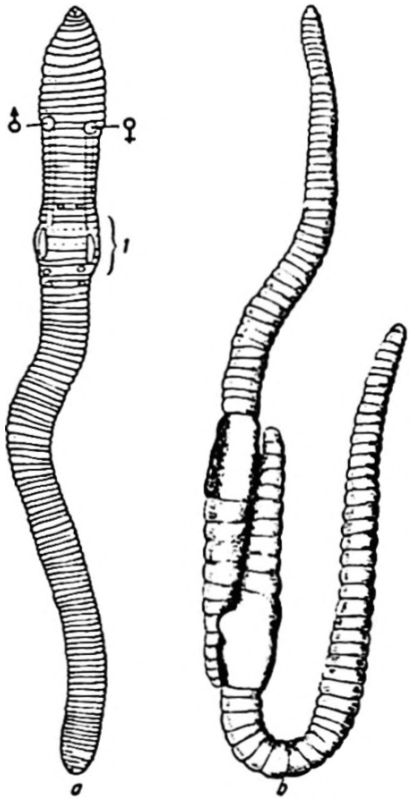


FIG. 216. Lombriz de tierra (*Lumbricus agricola*): *a,* animal visto por la parte ventral; en cada segmento se pueden apreciar dos pares de puntitos, son las sedas; 1, clitelio; ♀ y ♂, orificios sexuales femenino y masculino; *b,* dos lombrices durante la copulación; los clitelos de ambos animales aparecen en el dibujo punteados.

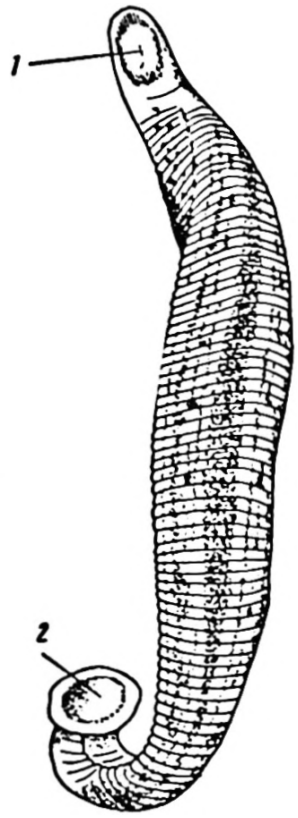


FIG. 217. Sanguijuela común (*Hirudo medicinalis*): 1, ventosa bucal; 2, ventosa anal.

Clase 2ª Oligoquetos (Oligochaeta).

Por su organización se asemejan mucho a los poliquetos, distinguiéndose de ellos por algunas simplificaciones. Viven en la tierra húmeda o en el agua dulce. Tienen los parápodos y las branquias reducidos. Son hermafroditas. El representante típico de esta clase es la lombriz de tierra *(Lumbricus agricola)* (fig. 216).

Clase 3ª Hirudíneos o sanguijuelas (Hirudinea).

Las sanguijuelas son anélidos carnívoros libres o, más frecuentemente, ectoparásitos, que viven sobre la piel de otros animales y se alimentan de su sangre. Tienen el cuerpo aplanado, en dirección dorso-ventral, con dos ventosas en las extremidades. Casi todas ellas carecen de parápodos, sedas y branquias. Las sanguijuelas poseen *segmentación secundaria*. Eso significa que los anillos exteriores del cuerpo no corresponden totalmente a los segmentos interiores, siendo de menor tamaño que los metámeros; sin embargo, cada uno de ellos ocupa un lugar determinado en el metámero y está inervado por determinados nervios procedentes del ganglio. También se diferencian de otros anélidos en que carecen en estado adulto de un verdadero celoma: los espacios que median entre los órganos internos están ocupados por un parénquima. El aparato digestivo de los hirudíneos ofrece ciertos rasgos específicos. El orificio oral puede estar dotado de una trompa (*rincobdelos*) o armado de mandíbulas cortantes, constituídas por numerosos dientecitos dispuestos a modo de una sierra finísima (*gnatobdelos*). Cuando la sanguijuela aplica la boca a la piel del huésped, sus mandíbulas la cortan, produciendo una herida en forma de Y, a través de la cual chupa la sangre. En la faringe se hallan las glándulas "salivales", que son unicelulares. La *sanguijuela común* (*Hirudo medicinalis*) (fig. 217) segrega una sustancia albuminoidea especial, la *hirudina*, que impide la coagulación de la sangre; por eso la herida que produce la sanguijuela sangra durante largo tiempo. Gracias a ello, la sangre absorbida

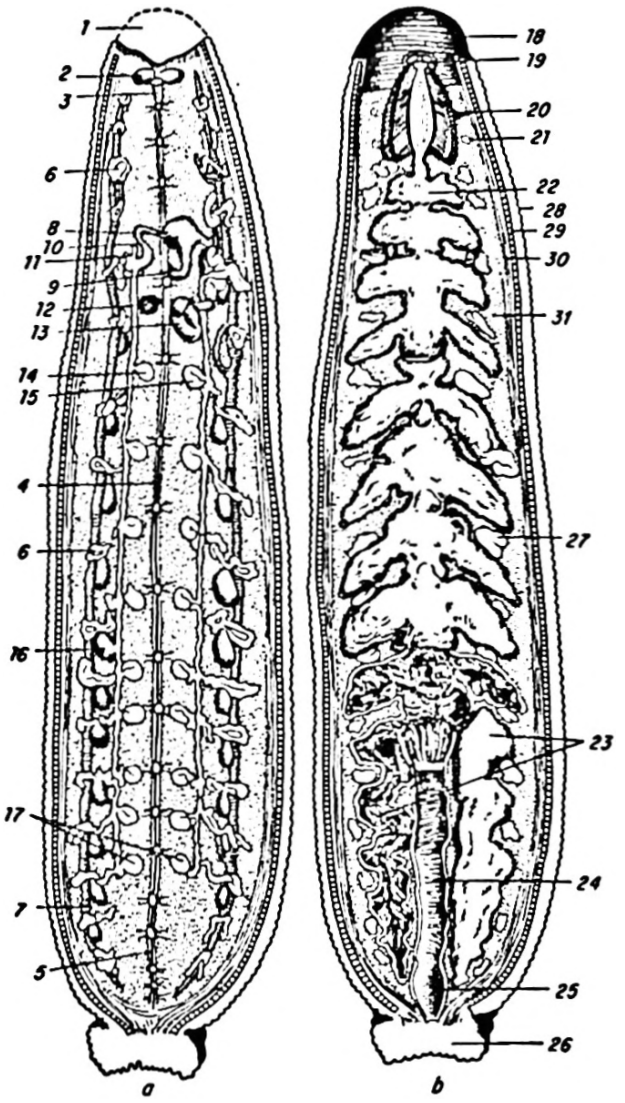


FIG. 218. Estructura de la sanguijuela común: *a*, se ha separado el intestino; *b*, estructura del intestino; 1, ventosa bucal; 2, mandíbulas; 3, ganglios cerebroides; 4, 5, cadena nerviosa ventral; 6, metanefridios; 7, laguna lateral derecha; 8, próstata; 9, órgano genital; 10, canal eyaculador; 11, apéndice testicular; 12, ovario; 13, vagina; 14, 15, par anterior de testículos; 16, vesícula del nefridio; 17, último par de testículos; 18, extremidad anterior del cuerpo; 19, boca; 20, esófago; 21, músculos esofágicos; 22, primer par de ciegos laterales del intestino; 23, décimo par de ciegos; 24, intestino terminal; 25, intestino recto; 26, ventosa anal; 27, nefridio; 28, tegumentos; 29, músculos anulares; 30, músculos longitudinales; 31, parénquima conjuntivo.

por la sanguijuela se conserva en su intestino sin variar de estado; los intervalos entre dos tomas de alimento pueden ser muy grandes. El intestino consta de abultamientos laterales, o ciegos, que aumentan su volumen (fig. 218). La digestión de la sangre ingerida se produce con gran lentitud.

También es original en las sanguijuelas la constitución de otros sistemas y aparatos. Al tener atrofiado el circulatorio, sus funciones pasan a los restos del celoma; en los metafridios se ha producido una separación entre el embudo y el resto del órgano. El aparato sexual no ofrece rasgos específicos propios. Los huevos fecundados se reúnen en *cápsulas* especiales, y el desarrollo del huevo es directo; de las cápsulas salen pequeñas sanguijuelas; pero hasta su desarrollo completo transcurren varios años. Las sanguijuelas llegan a vivir hasta 20.

Desde hace mucho tiempo, la medicina popular y la terapéutica utilizan estos animales como extractores de sangre en una serie de enfermedades, teniendo en cuenta, sobre todo, que el proceso no es doloroso. Además, la secreción de sus glándulas esofágicas disminuye la tensión arterial.

Se han observado casos en que las sanguijuelas son parásitos ocasionales de la cavidad nasal o nasofaríngea del hombre; así ocurre cuando se ingieren al beber agua de noche o directamente en riachuelos o estanques naturales.

Sobre el origen de los anélidos hay varias hipótesis. La idea más extendida es que existe una relación entre ellos y los turbelarios. En defensa de semajante hipótesis habla la semejanza de estructura entre las larvas de unos y otros, la posibilidad de que los metanefridios procedan de una modificación de los protonefridios, la repetición de determinados órganos a lo largo del cuerpo en algunos turbelarios (los abultamientos del intestino y la distribución metamérica de las glándulas genitales).

Es muy común la hipótesis de que los anélidos proceden de un antecesor de existencia no comprobada, el "trocozoon", que surgió de formas próximas a los ctenarios. De acuerdo con estas ideas, los animales trocóforos tendrían un origen independiente al de los turbelarios; los primeros estarían relacionados con los ctenarios, mientras que los antecesores de los turbelarios serían formas planuloides. Estos puntos de vista los desarrolla últimamente el académico V. N. Beklémishev.

De los anélidos actuales, el grupo más antiguo es el de los poliquetos; los oligoquetos están relacionados con ellos, pero muestran rasgos específicos, debidos a la adaptación a la vida dulceacuícola y la terrícola, haciendo agujeros en el suelo o introduciéndose en el terreno húmedo. Los hirudíneos se aproximan a los oligoquetos; sus rasgos característicos se deben a su modo de alimentación carnívoro-parasitaria.

TIPO VII. ARTROPODOS (ARTHROPODA)

Este tipo es muchísimo más rico que todos los demás en lo que respecta al número de representantes que lo integran. En muchos rasgos se asemejan a los anélidos, de cuyos antecesores proceden. Sin embargo, los artrópodos, que son un grupo de organización más elevada, presentan una serie de caracteres específicos.

Poseen, igual que los anélidos, estructura metamérica. Pero si los seg-

mentos de aquéllos son, por lo general, equivalentes unos a otros, en los artrópodos se produce una mayor diferenciación del cuerpo, que ya se esbozaba en los anélidos; la *metamería heterónoma*. Los grupos de segmentos iguales se han fusionado dividiendo el cuerpo en tres regiones *cabeza, tórax y abdomen,* que a veces pueden unirse entre sí. Los órganos de movimiento de los anélidos son los parápodos, apéndices musculosos sin articular; los de los artrópodos proceden filogenéticamente de ellos. Sus extremidades están unidas al cuerpo mediante una articulación movible y se hallan constituídas por artejos también movibles, de donde proviene su nombre de "artrópodos" (del griego *arthron,* articulación, y *podos,* pie).

Es también carácter distintivo de estos animales la presencia de una *cutícula quitinizada*. La quitina sirve de capa protectora y, además, in-

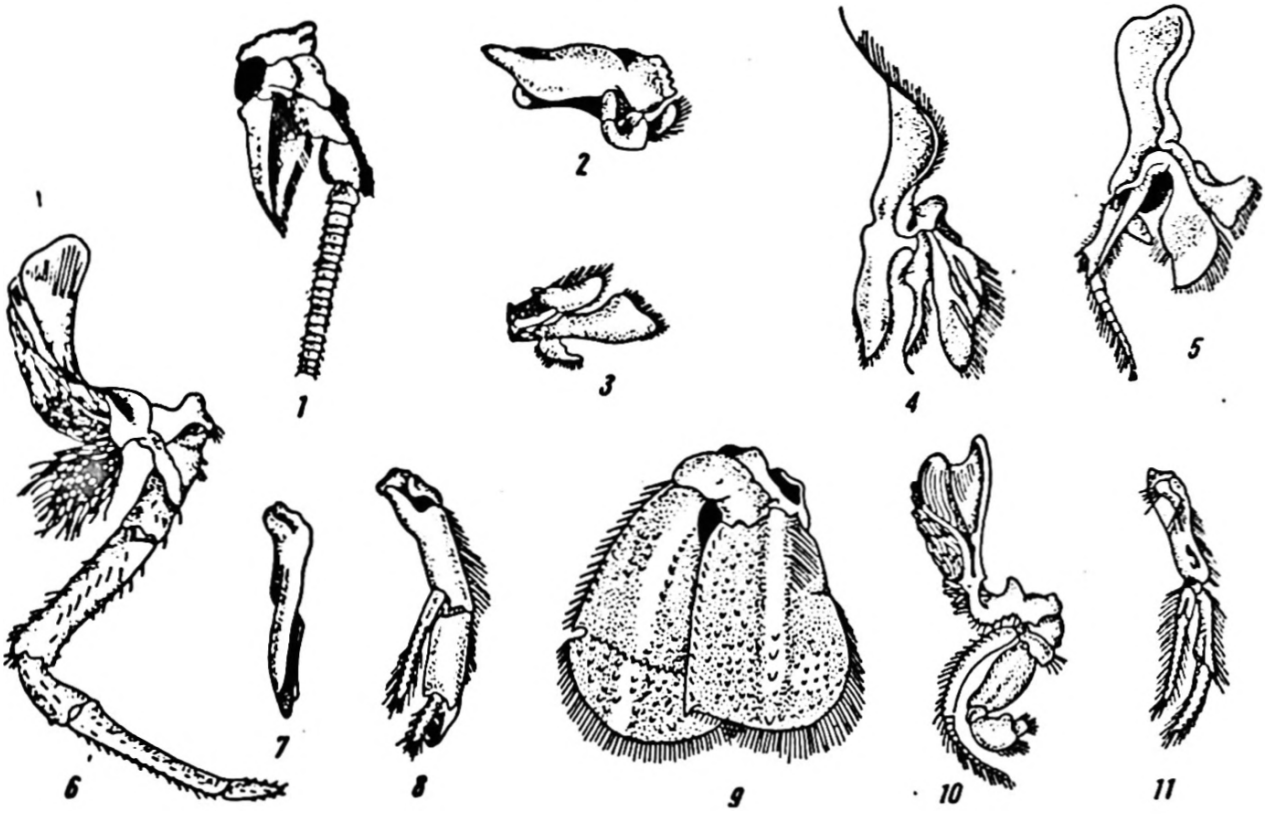


FIG. 219. Apéndices del cangrejo de río: 1, antena (con el extremo cortado); 2, mandíbula; 3, maxila del primer par; 4, maxila del segundo par; 5, maxilípedo del primer par; 6, pata ambulatoria; 7, pata del primer segmento abdominal del macho; 8, pata del segundo segmento abdominal; 9, apéndice del sexto segmento abdominal del macho; 10, maxilípedo del segundo par; 11, pata del tercer segmento abdominal.

crustada de sales calcáreas, desempeña el papel de un *exoesqueleto,* el cual forma en el interior del cuerpo los apodemas, que sirven de puntos de apoyo a los músculos. El espesor y la rigidez de la quitina dificulta el crecimiento paulatino del cuerpo; éste se produce periódicamente, durante la muda (el caparazón quitinoso se desprende de tiempo en tiempo, permitiendo un crecimiento brusco; después vuelve a formarse un nuevo caparazón).

El sistema muscular está integrado por grupos aislados, los *músculos para fines especiales*. La aparición de una musculatura localizada se relaciona, sin duda, con la aparición del esqueleto, ya que proporciona los lugares donde poder sujetarse los músculos; la túnica músculo-epitelial caracte-

rística de los gusanos se ha dividido en paquetes de músculos aislados. Además, la musculatura está constituída en parte por músculos de fibra estriada, que aseguran la rapidez de movimientos observable en muchos artrópodos, en los insectos, por ejemplo.

El aparato digestivo se ha complicado con la aparición de las *glándulas digestivas* y de las *piezas bucales,* que son modificaciones de los apéndices anteriores.

El sistema nervioso corresponde al de los anélidos y consta de un *ganglio supraesofágico,* de *comisuras periesofágicas* y de *cadena nerviosa ventral.* Las modificaciones experimentadas por el sistema nervioso se reflejan en la mayor concentración de sus elementos, en la fusión de los ganglios entre sí, originando conjuntos voluminosos; esto se refiere, en primer lugar, a la región cefálica. Están muy desarrollados los órganos sensoriales.

El aparato circulatorio alcanza un grado de organización más elevado que en los anélidos, ya que, por regla general, existe un órgano impulsor central, el *corazón.* El aparato circulatorio *no es cerrado,* es decir, que la sangre corre, en parte, por vasos y en parte por senos y lagunas, correspondientes a porciones de la cavidad del cuerpo que se comunican entre sí. El grado de complejidad de los vasos es diferente; está más desarrollado el sistema vascular en los casos en que la respiración se halla localizada en órganos, *branquias* o *pulmones.* Si los órganos respiratorios se extienden por todo el cuerpo (tubos conductores de aire o *tráqueas*), el sistema vascular se reduce, limitándose a veces a un solo vaso dorsal.

La cavidad general o celoma del cuerpo de los artrópodos es mixta; es el *mixocele.* Durante la embriogénesis se constituye el celoma, pero después sus paredes se destruyen y las cavidades celómicas se funden con los restos de la cavidad primitiva del cuerpo. Por tanto, el mixocele se caracteriza por su doble origen.

Los artrópodos se reproducen únicamente por vía sexual. Son, por lo general, unisexuales. Es frecuente observar un dimorfismo sexual patente.

Se acostumbra a dividir el tipo Artrópodos en tres subtipos: artrópodos de respiración branquial (Branchiata); 2) artrópodos provistos de quelíceros (Chelicerata) y 3) artrópodos de respiración traqueal (Tracheata).

Cada uno de los subtipos se divide a su vez en clases; aquí estudiaremos únicamente las tres clases más importantes (una de cada subtipo).

SUBTIPO I. ARTROPODOS DE RESPIRACION BRANQUIAL (BRANCHIATA)

Clase Crustáceos (Crustacea).

Los crustáceos son animales acuáticos, marinos y dulceacuícolas. Los representantes de esta clase ofrecen una gran diversidad en cuanto a su forma exterior y a la estructura de sus apéndices, mientras que su constitución interna es bastante uniforme. Los crustáceos se dividen en dos subclases: crustáceos *inferiores* o *entomostráceos* (Entomostracea) y *superiores* o *malacostráceos* (Malacostracea).

Tienen el cuerpo segmentado; en los superiores, el número de segmentos es constante e igual a 20; en los inferiores, varía. Las regiones de la cabeza y el tórax se funden en una y constituyen un *cefalotórax* o *pereión;* el *abdomen* o *pleón* es independiente.

Conviene destacar el proceso de *cefalización* que se observa al pasar de los anélidos a los crustáceos, es decir, la transformación de los segmentos anteriores del tronco en cefálicos.

Cada segmento del cuerpo, excepto el último, lleva, por regla general, un par de apéndices. Los de los segmentos cefalizados pierden en su mayor parte la función motriz y se convierten en órganos sensoriales o en aparato bucal. Entre los entomostráceos es frecuente la reducción de los apéndices. Los apéndices de las diferentes partes del cuerpo tienen distinta constitución y cumplen diversas funciones. Así, por ejemplo, en el cangrejo de río, que es el representante típico de los malacostráceos, los apéndices se transforman (fig. 219) en órganos sensoriales, en aparato maxilar, en partes complementarias del aparato genital, o se especializan para andar o nadar. Sin embargo, todos los diferentes apéndices están constituídos, en general, siguiendo un plan común: hay una pieza basilar (*protopodio* o *simpodio*) de la que parten dos bifurcaciones, la interna (*endopodio*) y la externa (*exopodio*). La estructura birrámea de los apéndices de los crustáceos se explica como consecuencia de su origen a partir de los parápodos de los poliquetos. En realidad, los apéndices son parápodos que han crecido y se han subdividido en artejos. El cambio más importante con relación a los parápodos consiste en la reducción total o parcial de una de las ramas.

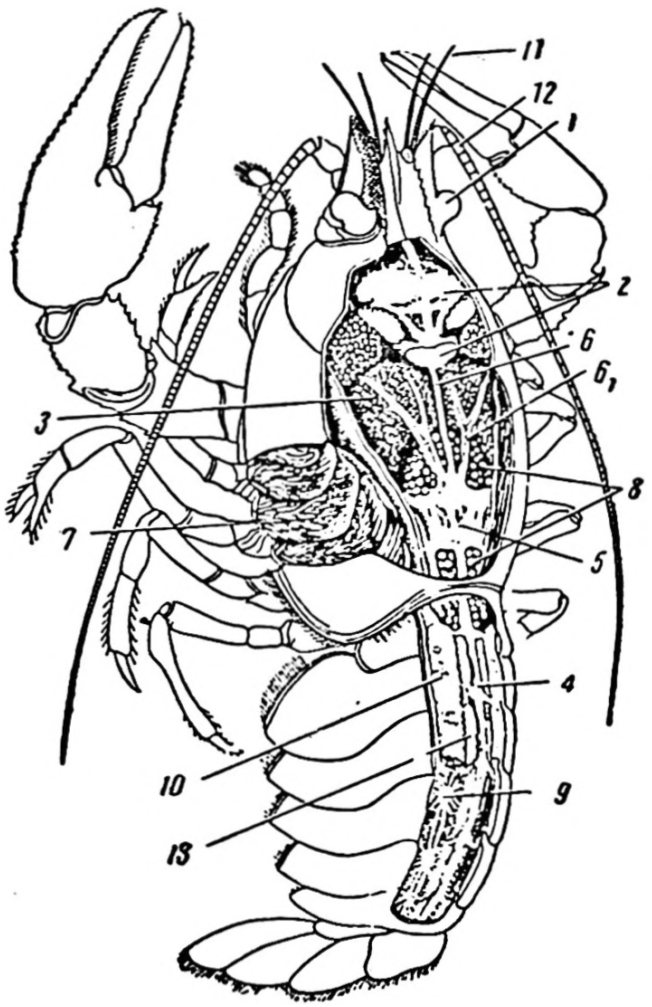


Fig. 220. Anatomía de la hembra del cangrejo de río: 1, ojo; 2, estómago; 3, glándula digestiva; ("hígado"); 4, arteria dorsal del abdomen; 5, corazón; 6 y 6_1, arterias exteriores torácicas; 7, branquias; 8, ovario; 9, cadena nerviosa ventral; 10, músculos del abdomen; 11, antenas internas; 12, antenas externas; 13, intestino recto.

El orificio bucal conduce a través de un corto *esófago* a un *estómago,* de estructura compleja (fig. 220), en el que tiene lugar la trituración de la comida, su digestión parcial y la separación de la que ha sido digerida respecto de la que no lo ha sido. En el *intestino medio,* corto, desemboca la *glándula lobulada,* de gran tamaño, que además de producir las sustancias destinadas a la digestión de los albuminoides, los hidratos de carbono y las grasas, es también el órgano de absorción del alimento. Esta glándula se la conoce con el nombre de *hígado* o con la denominación combinada de "hepatopáncreas", con lo que se quiere subrayar su fun-

ción doble de hígado y de páncreas. El intestino recto no tiene apéndices hasta llegar al orificio anal.

El sistema excretor lo constituyen un par de glándulas verdes, situadas una a cada lado, en la base de las antenas internas. Están modificados los metanefridios de los anélidos. Cada glándula (fig. 291) consta

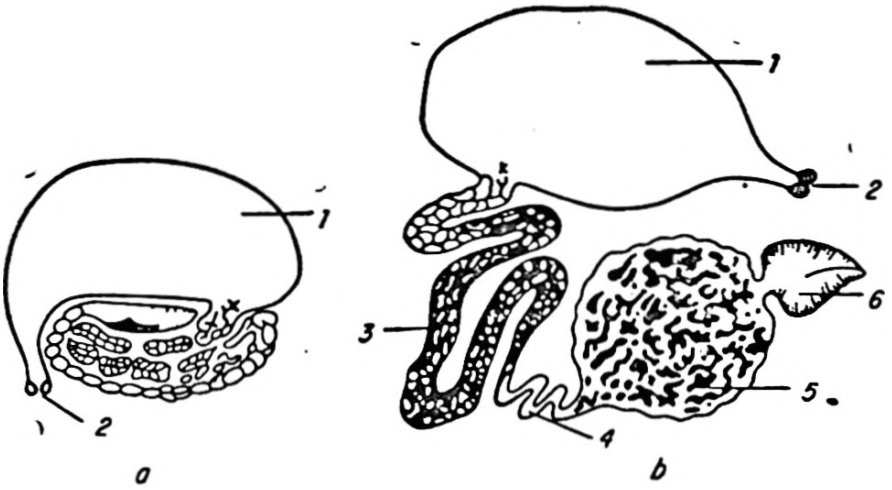


FIG. 221. Estructura del aparato excretor del cangrejo de río: *a*, en posición natural; *b*, el órgano entero extendido; 1, vesícula urinaria; 2, poro excretor; 3, canal blanco; 4, canal transparente; 5, canal verde; 6, receptáculo.

de un receptáculo, que se abre al exterior por un canal corto. El canal sinuoso constituye el nefridio de los anélidos, y el receptáculo es una porción de celoma, que se conserva desde el estado embrionario; el orificio del tubo, que va a parar al receptáculo, corresponde al embudo del metanefridio, pero sin cilios. Este cambio está relacionado, sin duda, con la reducción del celoma.

El aparato circulatorio se caracteriza por la presencia de un *corazón*, saco musculoso que posee varios *ostiolos* (orificios). Las *arterias* eferentes se abren en cavidades sanguíneas o *lagunas*. De las lagunas, la sangre, después de proporcionar el oxígeno a los tejidos, se acumula en los vasos branquiales, donde se oxigena de nuevo, para volver al corazón.

Las branquias son unos apéndices ramificados, de paredes delgadas, en los que se prolonga la cavidad del cuerpo y penetra la sangre. El cangrejo tiene las branquias en las cavidades branquiales, a los lados del cefalotórax, relacionadas con los artejos fundamentales de los apéndices torácicos y de los maxilípedos. La conexión de las branquias con los apéndices bifurcados recuerda claramente la relación existente entre los parápodos de los poliquetos y las branquias.

El sistema nervioso (fig. 222) corresponde al tipo de cadena, habiéndose aproximado entre sí de tal manera las dos ramas, que los ganglios de cada segmento se han fundido, dando la sensación de que hay una rama única. Hay que señalar también la concentración que han experimentado los grupos de células nerviosas, los cuales se han fundido después en una masa ganglionar común. Así se observa en la región torácica y, con especial claridad, en los segmentos anteriores, donde se forman las dos pare-

jas de acumulaciones mayores, los *ganglios supraesofágicos* (cerebro) y los *subesofágicos*:

Los órganos sensoriales están muy desarrollados. Aparte de los del *tacto*, poseen los del *olfato* y los del *equilibrio*. Son muy interesantes los ojos de los cangrejos, simples o estomatidios (como sucede con el ojo frontal impar u ojo del *Nauplius*, característico de la larva *nauplio*) y compuestos o *facetados*. Estos últimos están constituidos por la unión de numerosísimos (hasta 3 000) diminutos ojos, los *omatidios*. Cada uno de éstos está separado de los demás por una capa de células pigmentarias, que produce la visión llamada de *mosaico* (la imagen está constituida por numerosas imágenes parciales de pequeño tamaño).

El cangrejo de río es, como la mayoría de los crustáceos, un animal sexualmente dimorfo. El aparato genital es de constitución simple. La glándula genital (tanto en el macho como en la hembra) es impar y está colocada en la región torácica. Los canales deferentes aparecen en número par, y los huevos fecundados se desarrollan el el cuerpo de la madre (la *preocupación por la descendencia* es manifiesta).

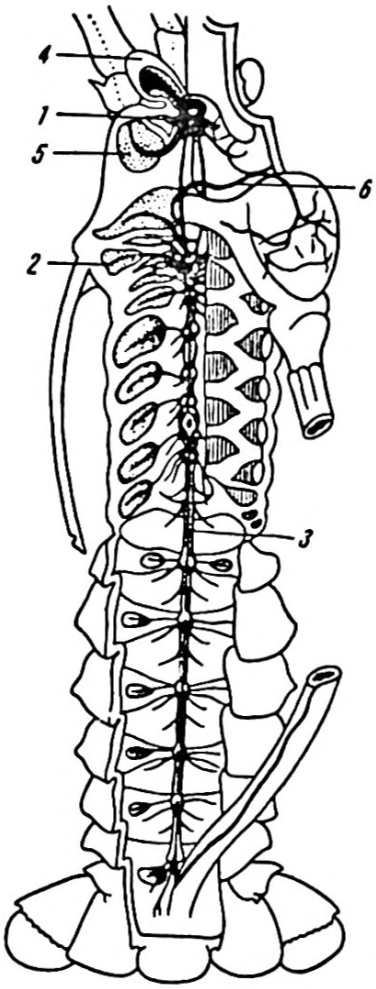


FIG. 222. Sistema nervioso del cangrejo de río: 1, masa nerviosa supraesofágica; 2, masa subesofágica; 3, cadena nerviosa ventral; 4, ojo; 5, nervio de la segunda antena; 6, sistema nervioso simpático.

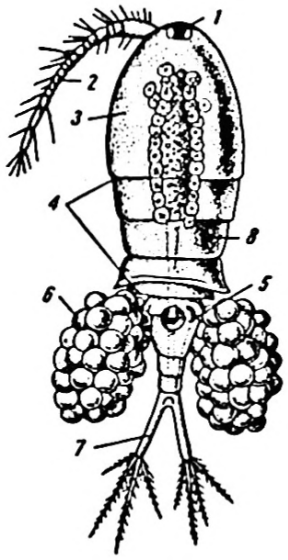


FIG. 223. *Cyclops strenuus*, hembra: 1, ojo; 2, antena interior (no se ven las exteriores); 3, cefalotórax; 4, los cuatro segmentos torácicos libres; 5, segmento sexual (genital) del abdomen; 6, saco ovígero; 7, apéndice bífico; 8, intestino.

Los crustáceos inferiores son animales pequeños, que se caracterizan por carecer de un número constante de segmentos, por tener, en la mayoría de los casos, un ojo impar y por la presencia de apéndices en el tórax y su ausencia en el abdomen. Entre los crustáceos inferiores hay formas, como, por ejemplo, los *Cyclops* (fig. 223), que sirven de huéspedes intermedios a algunos parásitos del hombre (*Diphyllobothrium latum* y *Dracunculus medinensis*).

Distintos factores muestran, sin lugar a dudas, que los Branchiata proceden de los anélidos (precisamente, de los poliquetos). Los más importantes de estos factores son: la segmentación del cuerpo en prostomio, tronco y segmento anal, que se comenzaba a esbozar en los anélidos, ha seguido en la diferenciación de las secciones del cuerpo de los artrópodos; los primitivos apéndices bífidos de los crustáceos ofrecen un plan estructural común con los parápodos de los gusanos segmentados; la distribución y estructura del sistema nervioso (cadena nerviosa ventral en escalera); semejanza en la conformación de los órganos excretores (tipo

metanefridial); parecido en la constitución del aparato circulatorio (corazón o vaso impulsor en la parte dorsal del cuerpo).

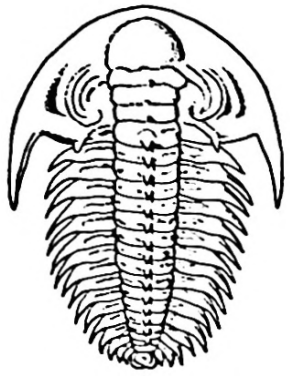


Fig. 224. Trilobites, visto por su cara dorsal.

Es digno de señalar que el subtipo Branchiata incluye, aparte de los crustáceos, la clase Trilobites (Trilobita), que corresponde a formas extinguidas, conocidas sólo como fósiles. Se trata de artrópodos marinos relativamente pequeños, que presentan una segmentación bastante homónoma y con un par de apéndices bifurcados primitivos en todos los segmentos del cuerpo (fig. 224). Junto a los rasgos característicos de los Branchiata, los trilobites tenían algunas particularidades que indicaban su posible relación con otro subtipo, el de los quelíceros (cuyos representantes tienen una larva muy parecida a la de aquéllos).

SUBTIPO II. ARTRÓPODOS PROVISTOS DE QUELÍCEROS (CHELICERATA)

Clase Arácnidos (Arachnoidea).

Los arácnidos son principalmente animales terrestres con órganos de respiración aérea y seis pares de apéndices. Presentan una mayor fusión de los segmentos, en comparación con los crustáceos (fig. 225).

Frecuentemente, el cuerpo consta sólo de dos regiones: el *cefalotórax* y el *abdomen*. Los segmentos de la primera parte están fundidos en una masa y llevan los apéndices; el abdomen carece de ellos y a veces está segmentado.

Los seis pares de apéndices de la región cefalotorácica aparecen diferenciados; los dos primeros están adaptados para apoderarse de la comida y triturarla (son los *queliceros* y los *pedipalpos*); los otros cuatro pares desempeñan el papel de *patas ambulatorias*. Durante la embriogénesis aparecen ya en el abdomen los rudimentos de los apéndices. A veces se conservan, modificados, en el estado adulto; modificaciones de estos apéndices son las *hileras* (que en algunos arácnidos son segmentadas).

Tienen el cuerpo cubierto, igual que los crustáceos, de una cutícula quitinosa, envuelta en su parte interior por una hipodermis de estructura celular, en la que se forman las glándulas *sericígenas* y *venenosas*.

La toxicidad de la secreción varía mucho. Las picaduras de los pequeños arácnidos no representan peligro para el hombre. Sin embargo, se sabe de casos en que picaduras de grandes escorpiones tropicales ocasionaron la muerte. Entre las arañas es venenosa la *tarántula*, aunque parece ser que se ha exagerado mucho acerca del peligro de sus picaduras. Es incomparablemente más peligroso el *Lathrodectus tredecimaguttatus*. El envenenamiento que producen los arácnidos recuerda la acción debilitada de la estricnina: después de una fase de gran excitación del sistema nervioso sigue otra de parálisis, que produce la muerte por asfixia.

El aparato digestivo de los arácnidos (fig. 226) está adaptado a la alimentación a base de sustancias semilíquidas. El esófago musculoso sirve de aparato suctor; la secreción de las glándulas salivales disuelve enér-

gicamente los albuminoides, convirtiendo el cuerpo de la presa en una papilla líquida. Entre la estructura del aparato digestivo de los arácnidos y de los crustáceos no hay diferencias sustanciales.

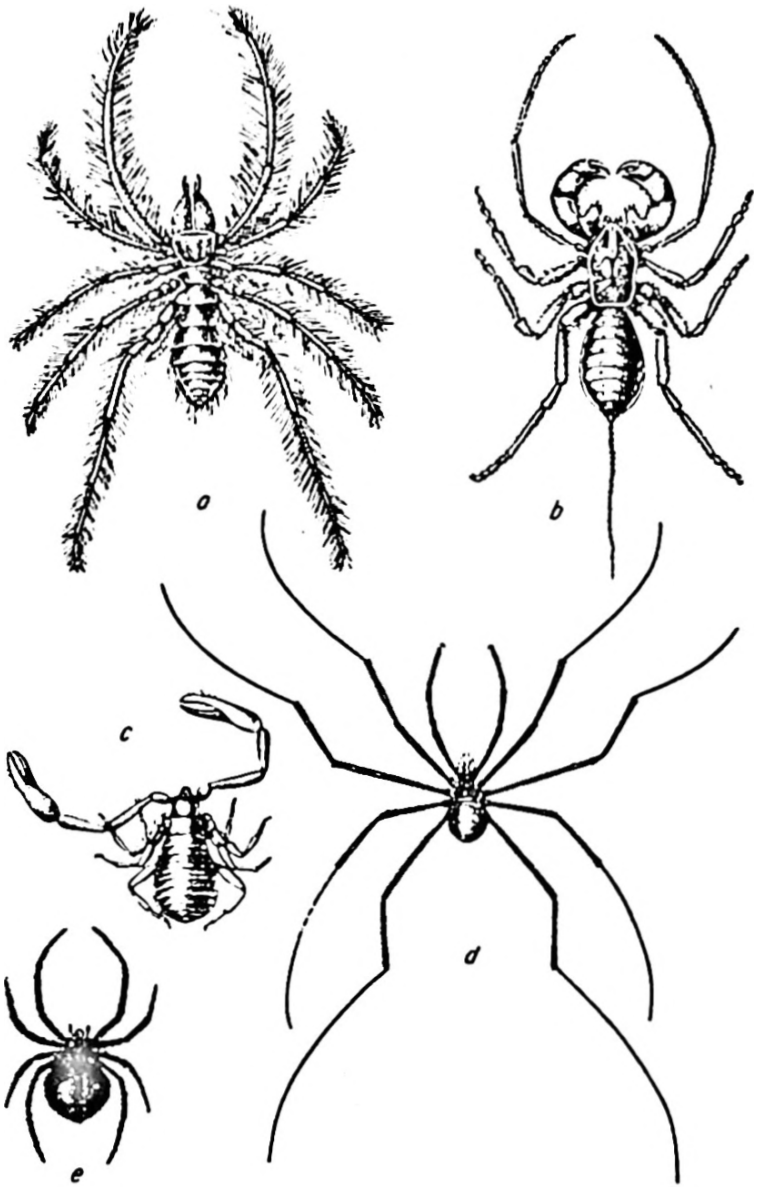


FIG. 225. Arácnidos: *a*, solpuga de Rusia (*Galeodes araneoides*); *b*, telifón (*Telyphonus caudatus*); *c*, escorpión de los libros (*Chelifer cancroides*); *d*, opilión (*Phalangium opilio*); *e*, *Latrodectes tredecimguttatus*.

La función excretora la realizan las *glándulas coxales*, homólogas de los metanefridios, que recuerdan mucho las glándulas antenales del cangrejo. Aparecen además unos órganos excretores de nuevo tipo, los *tubos de Malpigio*. Son unos tubitos delgados, ciegos, de origen endodérmico, que desembocan en el tubo digestivo, en la sección que corresponde al límite entre los intestinos medio y posterior.

El aparato circulatorio es parecido al de los crustáceos. En los ácaros se observa la reducción total o parcial de este aparato. Ofrece más interés

y variedad el aparato respiratorio. Algunos arácnidos utilizan para respirar unos sacos, las *filotráqueas;* otros, las *dendrotráqueas,* y los hay que emplean ambas al mismo tiempo. Las filotráqueas, o pulmones, que poseen las arañas y los escorpiones, comienzan por una estrecha ranura, que

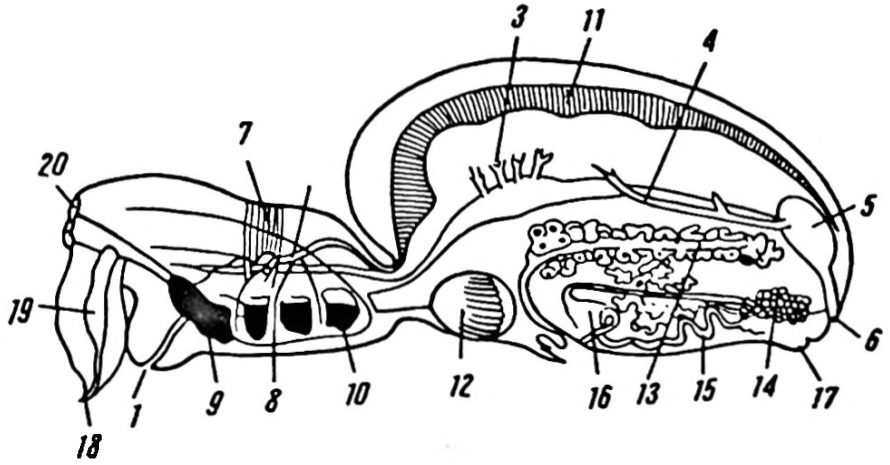


Fig. 226. Sección longitudinal de una araña: 1, boca; 2, sección cefalotorácica del estómago; 3, conductos hepáticos (el hígado ha sido extirpado); 4, tubos de Malpigio; 5, vesícula del intestino recto; 6, ano; 7, músculo suspensor del estómago; 8, ciegos intestinales; 9, 10, ganglio cerebroide y otros ganglios, fundidos en una masa ganglionar común; 11, corazón; 12, pulmones; 13, ovario; 14-16, diferentes tipos de glándulas sericígenas que se abren en las hileras (17); 18, queliceros y conducto del veneno (19); 20, ojos.

penetra en el cuerpo. Su cavidad está ocupada por gran número de pliegues, por los que circula la sangre. Actualmente se considera que los pulmones de los Arachnoidea son homólogos a las branquias de sus precursores acuáticos (fig. 227).

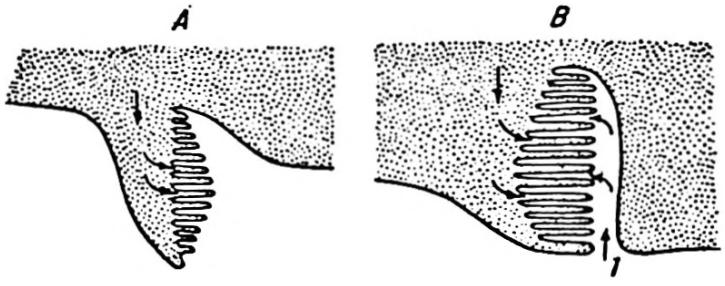


Fig. 227. Esquema del origen de los sacos pulmonares (B) de los escorpiones, a partir de los apéndices foliáceos de los xifosuros (A). La cifra 1 señala la ranura respiratoria del saco pulmonar; las flechas indican la corriente de la sangre y del aire.

Las dendrotráqueas son completamente diferentes. Consisten en un complicado sistema de tubitos conductores de aire, que comienzan en los *estigmas,* orificios respiratorios pareados situados en la parte lateral de los segmentos. Las tráqueas son consecuencia de profundas evaginaciones del epitelio exterior.

En el sistema traqueal el aire de la atmósfera llega directamente a los órganos y tejidos, es decir, que se trata de una respiración exterior, en la que el proceso de intercambio gaseoso coincide casi con la respiración a través de los tejidos, es decir, con el proceso de oxidación.

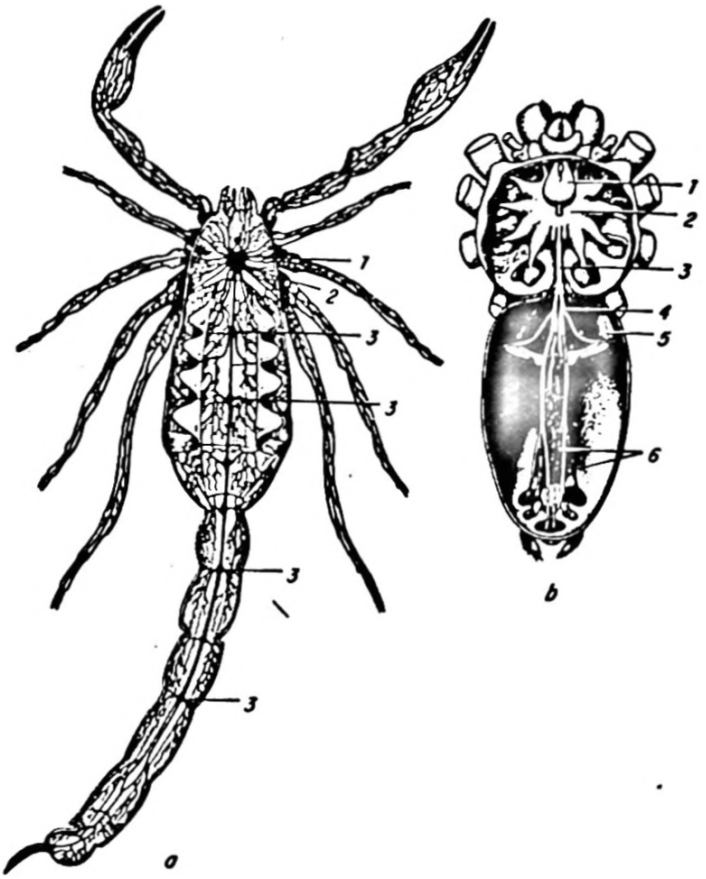


FIG. 228. Sistema nervioso de los arácnidos: *a*, sistema nervioso del escorpión: 1, cerebro; 2, núcleo subesofágico; 3, ganglios de la cadena abdominal; *b*, sistema nervioso de la araña de las cuevas (*Tegenaria domestica*): 1, cerebro; 2, núcleo ganglionar subesofágico, formado por la fusión de los ganglios del cefalotórax y del abdomen; 3, cordón nervioso abdominal; 4, ramas del cordón nervioso abdominal; 5, pulmón; 6, nervios de las hileras.

El sistema nervioso de los arácnidos se caracteriza por la concentración de los elementos que lo componen, pero el grado de concentración es distinto para los diferentes grupos (fig. 228). En los escorpiones, que tienen el abdomen claramente segmentado, se ve mejor la estructura en metámeros del sistema nervioso (hay 7 u 8 ganglios en la sección abdominal de la cadena nerviosa). En las arañas, que tienen fusionados los segmentos del cefalotórax y del abdomen, toda la cadena nerviosa se ha fundido en un *ganglio cefalotorácico*. Los ácaros, que tienen unidos todos los segmentos del cuerpo, no ofrecen ni siquiera una separación visible entre el ganglio cefalotorácico y el cerebro.

Todos los arácnidos tienen los *sexos separados*. Muchos ponen huevos rodeados de un *capullo* de hilos; algunos (escorpiones) son vivíparos. El

desarrollo es en casi todos directo. Solamente entre los representantes del orden de los ácaros existen las metamorfosis.

La clase de los arácnidos se caracteriza por una gran variedad de for-

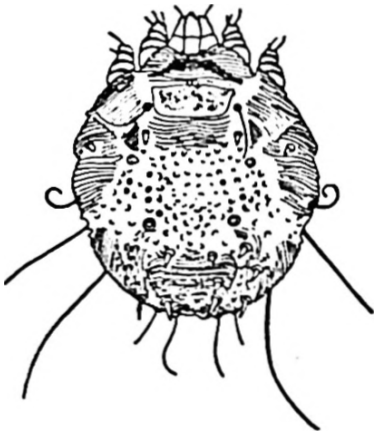


Fig. 229. Arador de la sarna (*Acarus siro*). Hembra, cara dorsal.

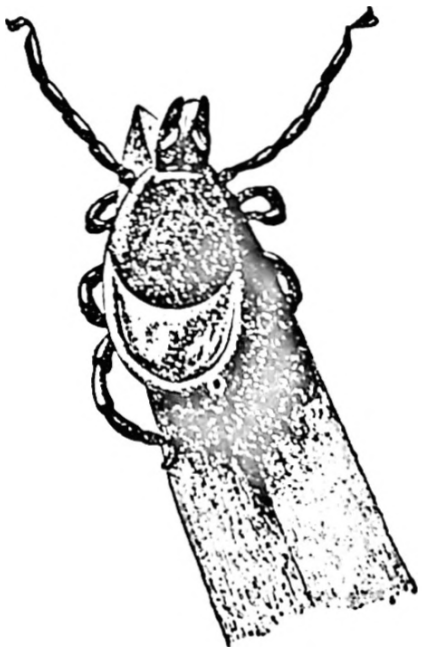


Fig. 230. Hembra hambrienta de garrapata (*Ixodes persulcatus*), sobre una hierbecilla, en posición de espera.

mas. Los órdenes más importantes son los *escorpiones* (Scorpionida), las *arañas* (Araonida) y los *ácaros* (Acarina).

Desde el punto de vista práctico el máximo interés lo ofrecen los ácaros. Son animales pequeños, de dimensiones frecuentemente microscópicas, que, por lo general, no tienen el cuerpo segmentado ni dividido en secciones (el cefalotórax y el abdomen se han fundido en una masa). Respiran por medio de tráqueas; algunos carecen de órganos respiratorios. La mayoría poseen los apéndices bucales transformados en un *rostro* o *estilete punzante*.

Las condiciones de vida y el modo de alimentación de los ácaros son muy diversos; los hay libres y parásitos.

Uno de los parásitos intraepidérmicos del hombre es el *arador de la sarna* (*Acarus siro*) (fig. 229). Cuando va a parar al cuerpo del hombre se introduce en la epidermis hasta alcanzar la capa mucosa en los lugares en que la piel es más fina (por ejemplo, entre los dedos) y abre allí galerías; se alimenta con el suero de los tejidos. La hembra deposita allí los huevos, de los que salen las larvas, que se desarrollan hasta alcanzar la forma semiadulta. Vive este parásito de 40 a 50 días. Al avanzar por la piel, el ácaro irrita las terminaciones nerviosas, produciendo un picor insoportable que aumenta por la noche. La tendencia a rascarse hace que penetren en esos lugares bacterias patógenas, que pueden originar complicaciones. La infección del *Acarus* se produce por contacto directo con el enfermo o a través de los objetos de uso corriente que éste utiliza.

El arador de la sarna pueden transmitirlo también los caballos, las cabras y otros animales. En lugares en que el nivel cultural de la población es muy bajo, la sarna está muy extendida. La profilaxia consiste en observar las reglas higiénicas y en el tratamiento de las personas y los animales enfermos de sarna.

FIG. 231. *Dermacentor nuttalli.* Hembra, cara dorsal.

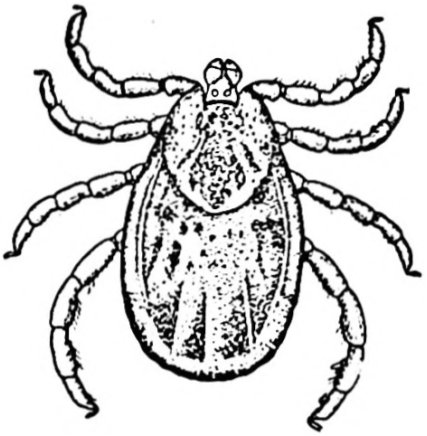


FIG. 232. Hembra hambrienta de *Dermacentor pictus,* cara dorsal.

Tienen mucha importancia para el hombre los representantes de la familia de los ixódidos (Ixodidae) conocidos con el nombre de *garrapatas.* Todos los ácaros son *ectoparásitos temporales;* muchos de ellos son de gran interés para la Medicina, por ser los *transmisores* de los agentes de diferentes enfermedades (enfermedades transmisibles). La mayoría de los ixódidos esperan a su víctima al aire libre: en los prados, bosques, zonas mixtas de bosque y estepa, etc. (fig. 230). Como la espera de la presa es larga, resisten el hambre durante períodos prolongados. A pesar de ello, muchas larvas mueren de inanición, ya que no logran ingerir sangre y pasar a la siguiente fase. En realidad, de cada mil individuos solamente uno llega a poner huevos. Por eso son extraordinariamente fecundos: las hembras de algunas especies pueden llegar a poner 17,000 huevos. Tan colosal fecundidad está relacionada con su voracidad extremada; la cantidad de sangre que chupan a veces las hembras de los ixódidos equivale a centenares de veces el peso de su cuerpo. Cuando alcanzan un huésped le chupan sangre sin interrupción durante varios días. Las hembras fecundas ponen los huevos en lugares húmedos protegidos, en las grietas de suelo, bajo los troncos de los árboles, etc. La larva que ha salido de la cápsula busca un huésped; cuando éste se aproxima, se adhiere a él y le chupa sangre; ataca a diferentes animales (aves, reptiles, mamíferos, e incluso al hombre). Cuando ya ha absorbido la cantidad suficiente, se desprende y se transforma en *ninfa* (que se caracteriza por la presencia del cuarto par de patas ambulatorias, de las que carecía la larva), la cual de nuevo vuelve a atacar a un huésped, le chupa sangre y luego se desprende. Después de la siguiente muda, las hembras y los machos esperan a su presa, en la que suele tener lugar la fecundación. Las hembras fecundadas y alimentadas se separan del huésped y ponen los huevos, después de lo cual mueren. Por tanto, en cada fase de desarrollo, los ácaros se alimentan una vez.

Los ixódidos están muy extendidos en el territorio de la U. R. S. S., los hay desde el extremo norte hasta las fronteras meridionales. Entre las enfermedades microbianas que transmiten tiene gran importancia la *encefalitis de verano y primavera o fiebre de las garrapatas*, grave dolencia del sistema nervioso, que produce frecuentemente la muerte o parálisis: la padecen diferentes mamíferos: roedores, insectívoros y carnívoros.

Los transmisores son los ácaros *Ixodes persulcatus* e *Ixodeoricinus*, que cuando pican a animales enfermos reciben el germen y lo transmiten al

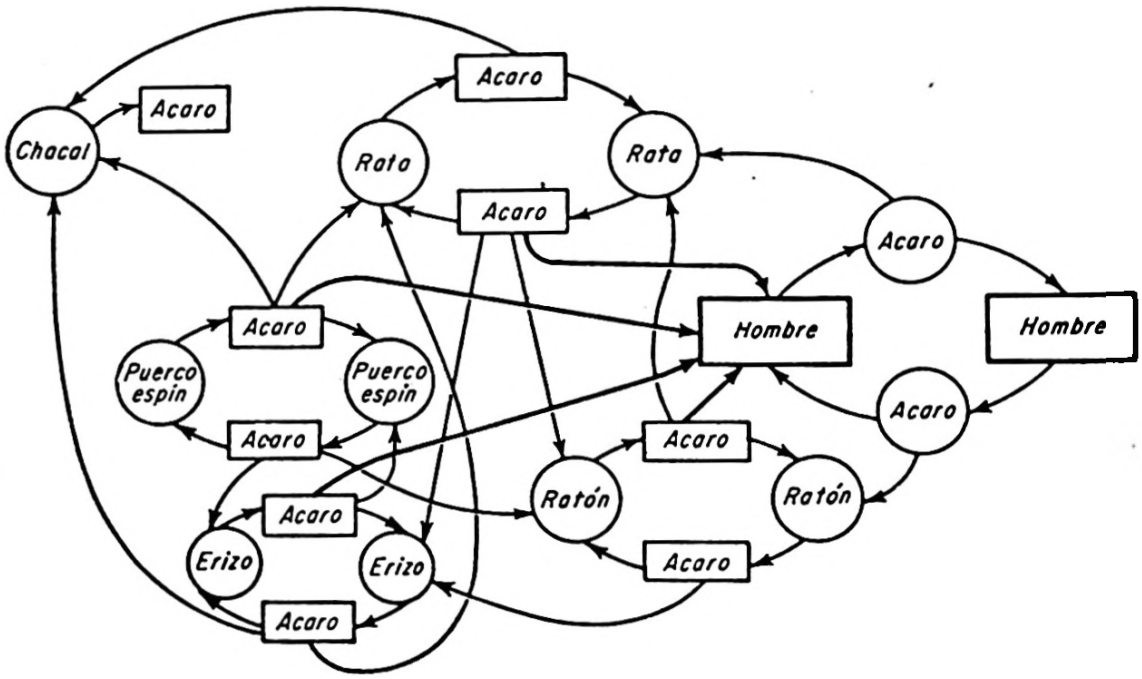


FIG. 233. Circulación de los espiroquetas del tifus exantemático en su foco natural y en la vivienda humana.

hombre. A través de los huevos del ácaro lo transmite también a sus descendientes. El *Ixodes persulcatus* habita toda la zona forestal de la U. R. S. S., desde el Lejano Oriente hasta Carelia y la región de Kalinin. Las personas pueden verse atacadas en los focos naturales de la encefalitis: en el Lejano Oriente y en Siberia, en la taigá virgen o semihabitada, en la parte europea de la U. R. S. S., y en los bosques mixtos de hoja ancha, incluyendo las plantaciones forestales y los lugares de veraneo.

El virus del *tifus exantemático* lo transmiten al hombre algunas especies del género *Dermacentor*, como es, por ejemplo, el *Dermacentor nuttalli* (fig. 231); un foco de infección lo constituyen los roedores (ratones de campo y lirones); los ácaros adultos se alimentan de la sangre de los grandes mamíferos domésticos. Los ácaros infectados permanecen en este estado durante toda su vida, y a través de los huevos transmiten el germen a sus descendientes.

También son dignos de atención los ixódidos como transmisores de infecciones bacterianas y, ante todo, de la *tularemia*. La padecen diferentes animales; el hombre se infecta bien por contacto directo con el animal enfermo o por picadura de los acáridos *Ixodes ricinus* y *Dermacentor pictus* (fig. 232). Las garrapatas del género *Dermacentor* transmiten tam-

bién el agente patógeno de la *brucelosis* (fiebre de Malta,) que es parásito de animales domésticos (vacas y ovejas).

Afines a los ixódidos son los ácaros de la familia de las argas (Argasidae), que habitan los lugares cerrados (cuevas, grutas, edificios húmedos deshabitados, etc.). Están así mejor protegidos de sus enemigos y mueren menos que los ixódidos, por lo cual son muchísimo menos fecundos (no ponen durante toda su vida más de 1,000 huevos). Viven en cualquier vertebrado, desde los reptiles hasta el hombre. La necesidad de nutrirse durante el tiempo que el huésped se halla en el refugio ha hecho que se adapten a comer con rapidez (en un intervalo de 3 a 30 minutos); a causa de ello, su cuerpo puede hincharse notablemente. Los argas pueden permanecer hambrientos hasta 11 años. Su ciclo vital dura de 20 a 25 años. Los más importantes para el hombre son los argas del género *Ornithodorus,* que transmiten las *rikettsias del tifus exantemático,* que ataca a las ratas, ratones, erizos, zorras, chacales, etc. Las garrapatas que han chupado su sangre permanecen contaminadas durante toda su vida, y al volverse a nutrir inoculan bacilos en la sangre de otros animales. Cuando el hombre se encuentra en el foco donde existe el agente del tifus, se contamina al picarle las garrapatas (fig. 233).

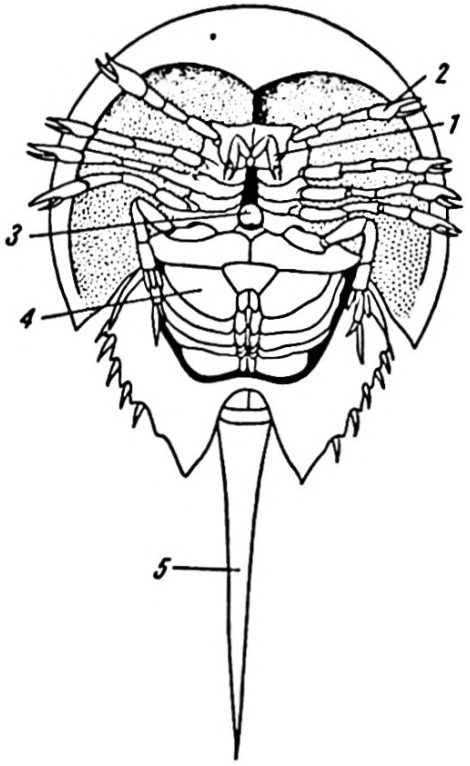


FIG. 234. Xifosuro *Limulus*, cara ventral: 1, quelíceros; 2, pedipalpos; 3, quilario; 4, opérculo; 5, telson.

El estudio de los representantes del subtipo *Chelicerata* muestra claramente la proximidad que existe entre los animales terrestres (arácnidos) y los acuáticos (xifosuros) (fig. 234). Los xifosuros actuales tienen a su vez semejanza con el primitivo grupo de los trilobites.

Evidentemente, la evolución se produjo desde formas con segmentación homónoma hacia formas que se caracterizaban por una heteronomia cada vez mayor. En los arácnidos, al mismo tiempo que se fusionaban los segmentos en forma progresiva y se reducían los apéndices en los segmentos abdominales, tenía lugar una sustitución de los órganos respiratorios más antiguos, los llamados pulmones (que se desarrollaron, al parecer, a partir de las branquias de los xifosuros), por un nuevo sistema, el traqueal. Entre los arácnidos, el grupo más antiguo y primitivo es el de los escorpiones. Los ácaros ofrecen una serie de rasgos específicos: su estructura exterior está simplificada, son de tamaño pequeño y algunos poseen dispositivos para la vida parasitaria.

SUBTIPO III. ARTRÓPODOS DE RESPIRACIÓN TRAQUEAL (TRACHEATA)

Clase Insectos o Exápodos (Insecta).

Los insectos constituyen la clase más especializada y de organización más elevada entre los artrópodos, así como la más rica en especies. Se han adaptado a las más diversas condiciones de existencia; habitan todas las latitudes —desde los polos al ecuador—, se nutren con la alimentación más variada y muchos de ellos viven como parásitos de otros seres. Es el grupo más elevado de artrópodos, y cuenta con casi un millón de especies. Los insectos poseen todos los rasgos típicos de los artrópodos, pero al mismo tiempo presentan caracteres específicos.

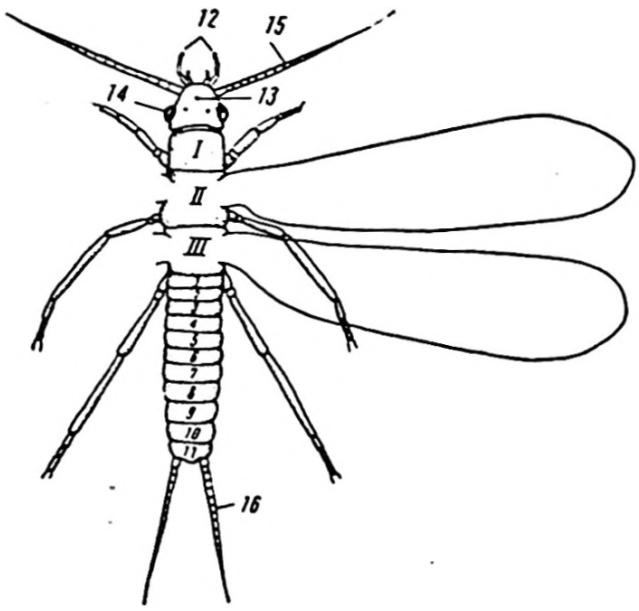


FIG. 235. Esquema de la organización de un insecto pterigógeno: 1-11, segmentos del abdomen; I-III, segmentos del tórax; 12, palpos maxilares; 13, ocelos; 14, ojos compuestos facetados; 15, antena; 16, cercos caudales.

La segmentación de su cuerpo está mejor definida que en los arácnidos e incluso que en los crustáceos: el cuerpo se divide en tres regiones: la *cabeza,* el *tórax* y el *abdomen* (fig. 235), cada una de las cuales consta de segmentos, pero los de la cabeza están soldados, constituyendo un todo; la cabeza la integran cinco segmentos, que se unen al tórax por medio de un *cuello* móvil. Poseen *antenas,* que sirven de órganos táctiles y olfatorios, *ojos y aparato bucal.*

De acuerdo con la enorme variedad de sus modos de alimentación, el aparato bucal varía en los diferentes insectos. Puede ser *perforador,* adaptado a nutrirse a expensas de la sangre (por ejemplo, los mosquitos y las pulgas), *lamedor* (en las moscas) y *suctorio* (en las mariposas). Todos estos tipos de aparato bucal no son más que variedades del fundamental —el *masticador—,* que poseen las cucarachas (fig. 236). Consta de un *labio superior* o *labro,* un par de *mandíbulas,* un par de *maxilas* y un *labio inferior.* El labro está formado por un repliegue cutáneo. Las partes restantes del aparato bucal son tres pares de apéndices de la región cefálica, que se han transformado.

El tórax se divide en tres segmentos: el *protórax,* el *mesotórax* y el *metatórax,* en cada uno de los cuales hay un par de apéndices. La presencia de tres pares de patas es tan característica de los insectos que se les denomina *exápodos* (Hexapoda). Al cumplir la función motora, estos apéndices pueden modificarse de acuerdo con el modo de vida del insecto. Hay patas conformadas para *andar, correr, saltar, excavar, nadar,* etcétera (fig. 237).

La mayoría de los insectos posee también en el tórax *alas,* generalmente dos pares de ellas: uno en el mesotórax y otro en el metatórax; los dos pares pueden estar igualmente desarrollados, aunque a veces el ante-

rior se modifica y adquiere la forma de un estuche protector de las alas posteriores: son los *élitros*; en otras, el par posterior se conserva únicamente como un rudimento; hay casos en que los dos pares desaparecen totalmente. Las alas son expansiones membranosas de los tegumentos, recorridas por unos engrosamientos quitinosos, que constituyen un armazón de nerviaciones, cuyo dibujo caracteriza a los diferentes grupos de insec-

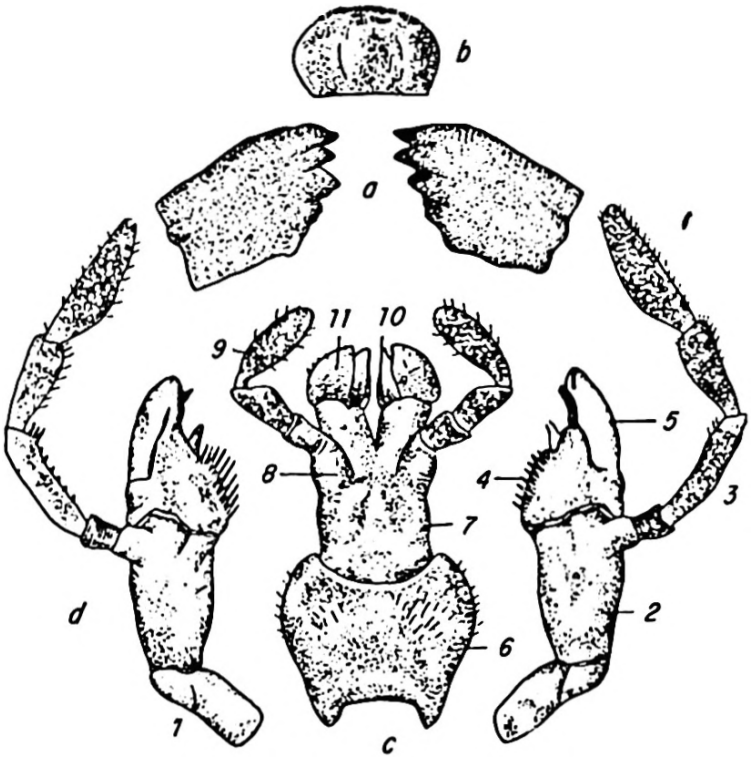


FIG. 236. Apéndices bucales de la cucaracha: *a*, mandíbulas; *b*, labro; *c*, maxilar; *d*, labio inferior; 1, cardo; 2, estipe; 3, palpo maxilar; 4, lóbulo interno (lacinio); 5, lóbulo externo (galea); 6, submentón; 7, mentón; 8, lígula; 9, palpo labial; 10, glosis; 11, paraglosis.

tos. El número de movimientos por segundo de las alas oscila desde 6 y 10, en las grandes mariposas diurnas, hasta 440 en las abejas, y en relación con ello varía la velocidad del vuelo, desde 7 a 25 Km/hora.

El abdomen suele estar formado por 9 ó 10 segmentos; a veces se hallan en él patas rudimentarias; posee además unos apéndices, el *oviscapto* y los *cercos*.

En la capa epitelial de los insectos se encuentran diferentes *glándulas*: *odoríferas* o de olor repugnante, en el tórax de las chinches; *protectoras*, en las orugas; productoras *de la cera*, en las abejas; así como las glándulas de la *muda*. Los músculos, dispuestos en bandas transversales, constituyen un complicado sistema para poner en movimiento las patas, las alas, las antenas, etc. La cavidad interna no está vacía, toda ella la ocupan *lagunas sanguíneas* y un cuerpo *adiposo especial*.

El aparato digestivo tiene sus partes más diferenciadas que los demás artrópodos y dispone de *glándulas salivales*.

La función renal la desempeñan, lo mismo que en los arácnidos, los

tubos de Malpigio, que son unos tubitos cilíndricos que desembocan en el intestino. Constituye además un órgano complementario el *cuerpo adiposo*, del que hemos hablado más arriba, en cuyas células se acumulan concreciones de ácido úrico. Pertenece al tipo de "riñones de almacenamiento o acumulativos", en los que los productos del metabolismo se reúnen, pero no son eliminados al exterior. La función principal de este

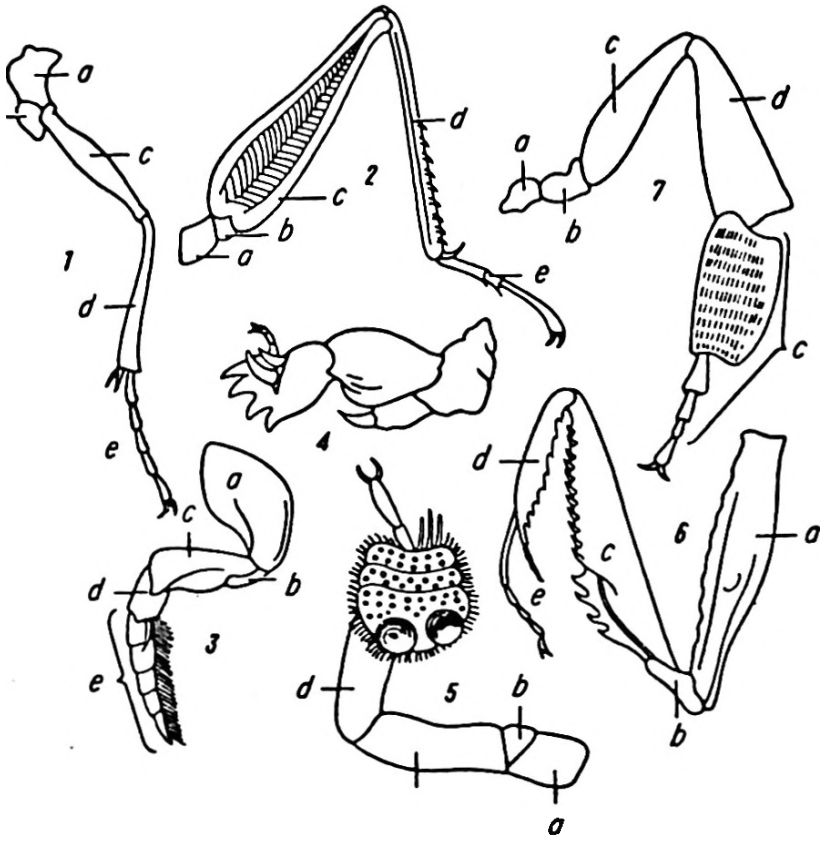


FIG. 237. Patas de insectos: adaptada para correr (1), saltar (2), nadar (3), excavar (4), chupar (5), capturar (6), en forma de cesta (7); *a*, coxa; *b*, trocánter; *c*, fémur; *d*, tibia; *e*, tarso.

cuerpo adiposo consiste en almacenar la grasa o el glucógeno y los albuminoides, que son productos alimenticios de reserva; gracias a ellos muchos insectos pueden resistir durante largo tiempo el hambre. También son partes modificadas del cuerpo adiposo los órganos *luminosos*, que poseen algunos insectos.

El aparato respiratorio, de tipo *traqueal*, está muy desarrollado. Una tupida red de tubitos, conductores de oxígeno, está repartida por todo el cuerpo, penetrando incluso en células aisladas. Debido a esta característica estructural del aparato respiratorio, el circulatorio está poco desarrollado; en la parte dorsal del abdomen se halla el *corazón*, que es alargado y de forma *tubular*, y de él parte la *aorta cefálica*. Llegada al cerebro, la aorta termina en un orificio en forma de embudo; así la sangre baña los órganos internos de la cabeza, dirigiéndose después a las demás partes del cuerpo. Algunos insectos tienen la sangre tóxica, y ello constituye un medio protector del animal.

El sistema nervioso consta de las mismas partes principales que en los demás artrópodos, pero su nivel de desarrollo es más elevado (fig. 238). Los *ganglios supraesofágicos*, el *cerebro*, están muy desarrollados y se componen de tres partes: *anterior, media* y *posterior*. La estructura del cerebro es más perfecta sobre todo en aquellos insectos cuya vida es muy compleja y que se ven obligados a realizar funciones muy variadas; el cerebro alcanza su mayor desarrollo en los insectos llamados "sociales", como las hormigas, las abejas y los termes.

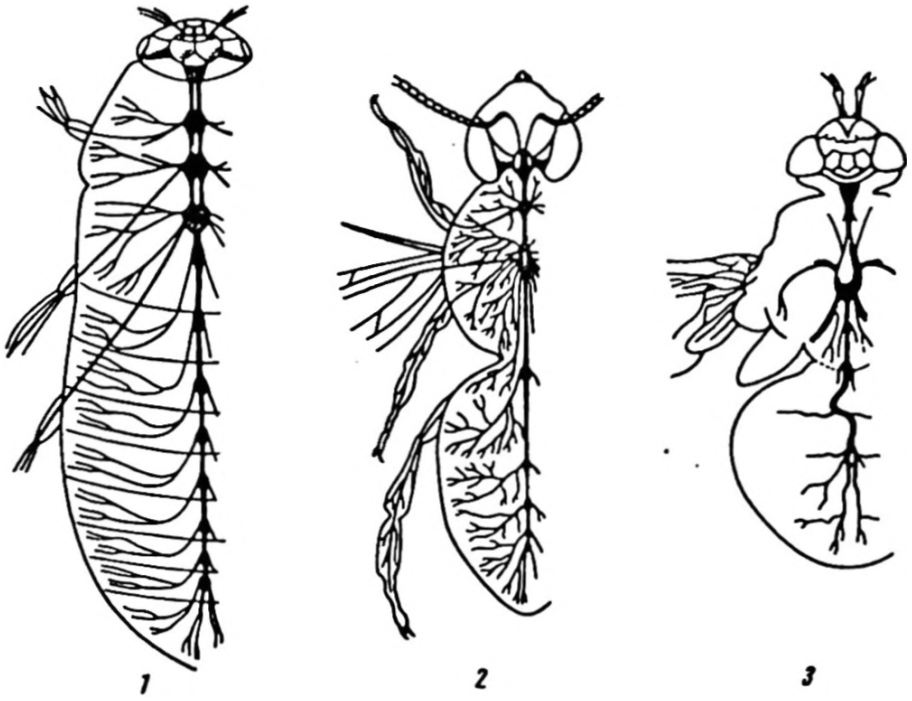


FIG. 238. Sistema nervioso de distintos insectos: 1, escarabajo *Dictyopterus sanguineus;* 2, abeja *Apis mellifera*; 3, mosca *Echinomyia grossa*.

Los llamados *cuerpos fungiformes*, localizados en la parte anterior del cerebro, son centros asociativos de especial importancia. Su grado de desarrollo depende de la complejidad que alcancen las funciones vitales. Por ejemplo, las abejas y hormigas obreras los tienen mucho más desarrollados que las reinas; los machos de las hormigas poseen cuerpos fungiformes, casi rudimentarios.

La cadena nerviosa abdominal se concentra, a consecuencia de lo cual el número de ganglios abdominales de los insectos adultos no pasa de 8. En algunos escarabajos, moscas y otros insectos, todos los ganglios nerviosos abdominales de la cadena están reunidos en una masa común.

Los ojos de los insectos suelen ser compuestos, pero las larvas los tienen también sencillos. Están adaptados, en general, para ver a poca distancia. Los insectos poseen también órganos de los *sentidos* del *equilibrio*, del *gusto* y del *oído;* disponen de estos últimos, ante todo, los insectos capaces de emitir sonidos. Está muy desarrollado el *olfato*, que ayuda a encontrar el alimento y, en el período de reproducción, a localizar los individuos del sexo contrario.

Los insectos son *unisexuales;* con frecuencia el dimorfismo sexual es muy manifiesto (los machos son de menor tamaño, a veces su coloración

es diferente, pueden estar dotados de alas, que en las hembras son reducidas, etc.). Las glándulas genitales son *pares,* y lo mismo sucede con los canales deferentes. Las hembras de muchos insectos poseen *cercos,* con ayuda de los cuales colocan los huevos en tierra, bajo la corteza de los árboles, o, como les sucede a algunos icneumónidos, en el cuerpo de otro insecto, que parasitan sus larvas. Las abejas y avispas tienen los cercos transformados en un *aguijón,* en contacto con una glándula *venenosa.*

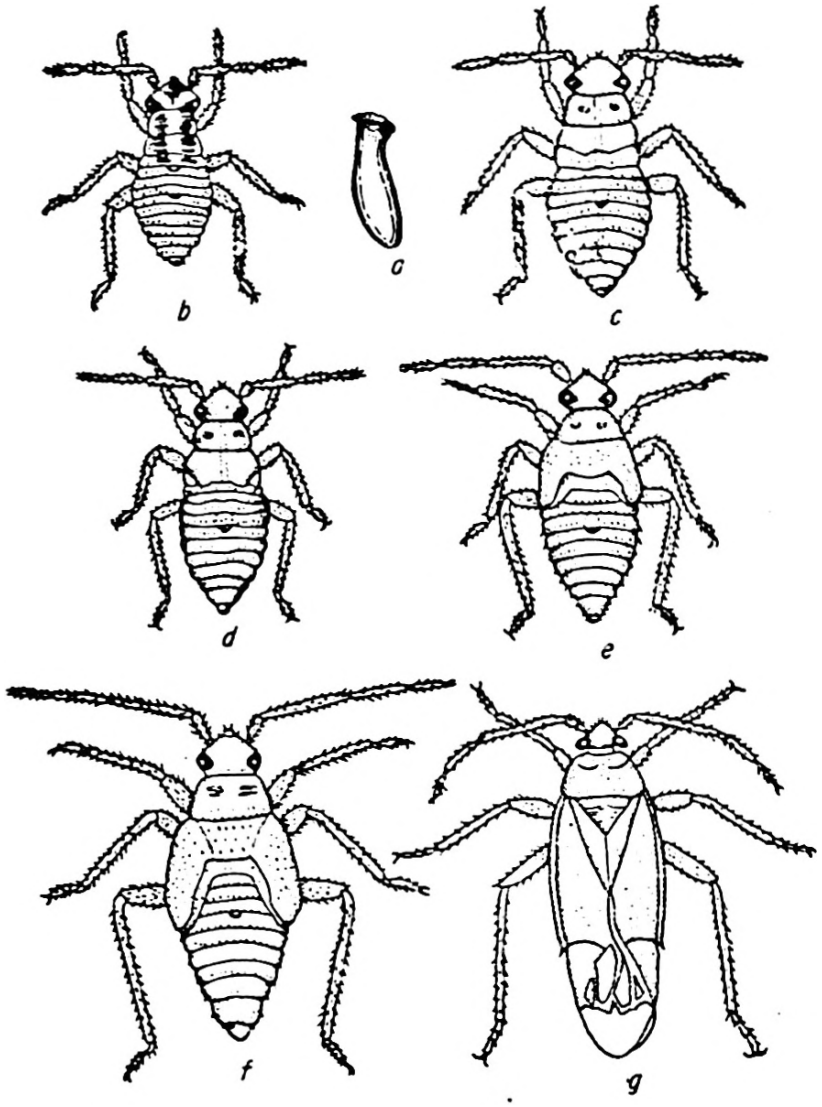


FIG. 239. *Metamorfosis hemimetabólica* (incompleta) de la chinche: *a,* huevo; *b-f,* fases larvarias; las alas rudimentarias aumentan paulatinamente; *g,* imago (chinche adulta).

El desarrollo post-embrionario se realiza según tres tipos diferentes. En los apterigógenos inferiores el desarrollo es *directo*: el insecto que sale del huevo se asemeja en lo fundamental a sus progenitores. En los insectos pterigógenos el desarrollo va acompañado de *metamorfosis,* que pueden ser *completas* e *incompletas.*

La metamorfosis incompleta (fig. 239) es característica de los grupos de organización inferior (cucarachas, chinches y libélulas); la *larva,* al salir del huevo, se parece al

insecto adulto, distinguiéndose de él por el incompleto desarrollo de las alas, por los caracteres sexuales secundarios y por algunas otras particularidades. Las diferencias entre la larva y el organismo adulto van desapareciendo poco a poco, a través de una serie de mudas.

En la metamorfosis completa (fig. 240) la larva se distingue radicalmente del insecto adulto por la ausencia y el insuficiente desarrollo de muchos caracteres y, al mismo tiempo, por la presencia de *órganos larvarios* (*provisionales*). La transformación en individuo

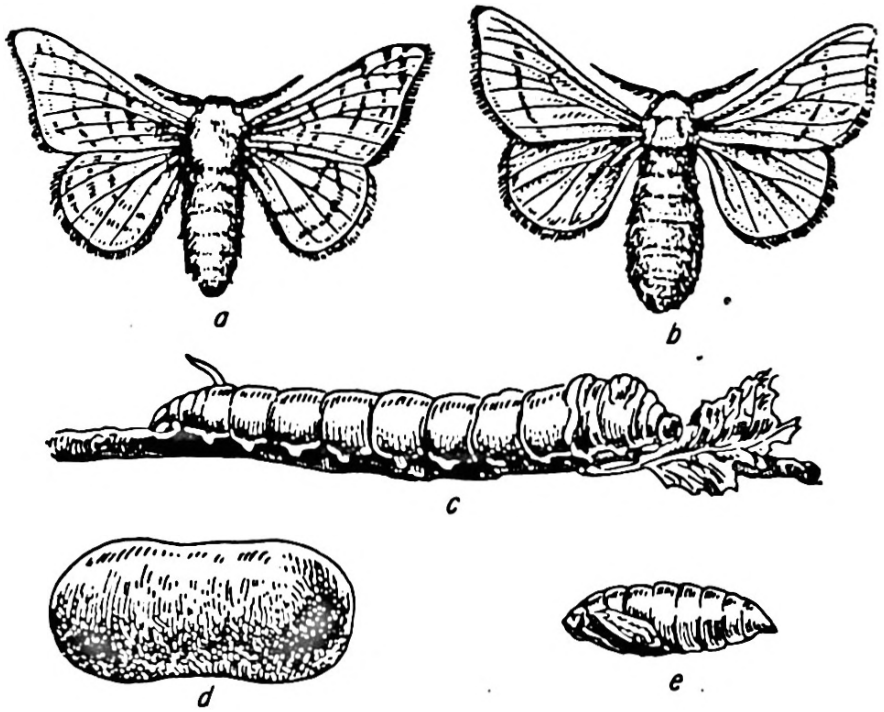


FIG. 240. Metamorfosis holometabólica (completa) del gusano de seda: *a*, macho; *b*, hembra; *c*, oruga; *d*, capullo; *e*, crisálida; extraída del capullo.

adulto (imago) no se realiza paulatinamente, sino que todos los cambios se van retrasando hasta la última muda. Durante este período los cambios que se operan son tan radicales, que resulta imposible el desarrollo normal de todas las funciones fisiológicas y la larva pasa a una situación de inmovilidad, convirtiéndose en *ninfa* o *crisálida*. Durante esta fase se produce una restauración casi total en la organización de la larva, después de lo cual, de entre los restos de la envoltura que cubría la ninfa, sale el insecto adulto.

Los insectos se reproducen únicamente por procedimiento sexual. Aparte de la reproducción anfigónica se conocen muchos casos de partenogénesis, que, en algunas formas, constituye la regla.

Por ejemplo, los óvulos de la abeja reina, de donde salen los zánganos, se desarrollan siempre sin ser fecundados. A veces se observa una alternancia de generaciones: con fecundación y con partenogénesis. También hay insectos vivíparos.

Entre los insectos se observa preocupación por la descendencia: realizan la eclosión de los huevos en lugares convenientes, llegando a veces a hacerlo en el futuro medio nutritivo. Algunos construyen nidos y aseguran la alimentación de las larvas en desarrollo.

La clasificación de los insectos es muy complicada, debido a su gran variedad de formas; se basa principalmente en la estructura de las alas. Se cuentan más de 30 órdenes. Partiendo de fines puramente prácticos,

Fig. 241. *Pediculus hominis*: 1, huevo; 2, individuo adulto.

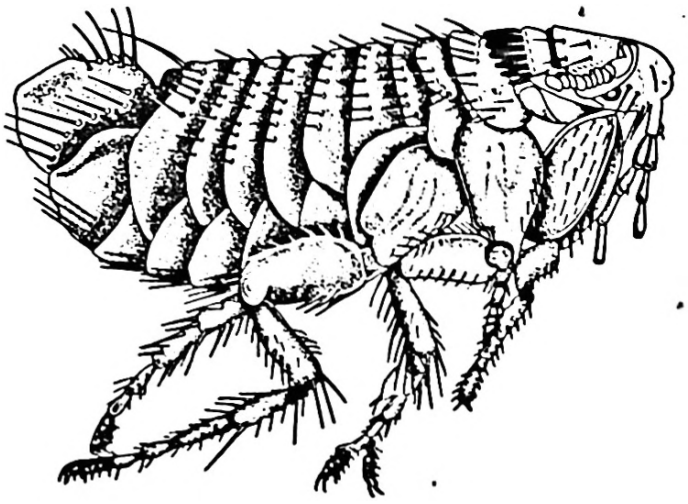


Fig. 242. Pulga (*Ceratophyllus tesquorum*).

después de haber estudiado la clase en su conjunto, nos ocuparemos tan sólo de los representantes de aquellos órdenes que ofrecen importancia directa para la Medicina.

Los daños que originan los insectos pueden ser directos o indirectos. Pertenecen a la primera categoría los que causan con sus picaduras, con sus movimientos por el cuerpo, etc. Los indirectos son más graves y consisten en la transmisión de los agentes de diferentes enfermedades (enfermedades transmitidas), que realizan por medio de la *picadura* o por *simple contacto* de los insectos contaminadores (por ejemplo, cuando contaminan la comida, etc.). Un mismo insecto puede ser perjudicial directa e indirectamente.

Es difícil calcular los daños que producen los insectos. E. N. Pavlovski dijo, refiriéndose a esto: "La picadura de los mosquitos, las chinches y las pulgas ha matado a más personas que las que han caído en cuantas guerras se conocen." Estas atinadas palabras concretan excelentemente el papel de los insectos en la transmisión de las enfermedades más diversas.

Un estrecho contacto con el huésped se observa en los *piojos* (orden de los anopluros), que son ectoparásitos permanentes de los animales y realizan en el cuerpo de su huésped todas las fases de su desarrollo, desde el huevo hasta el individuo adulto, incluído este último. Los piojos son insectos sin alas, de cuerpo aplanado y con el aparato bucal del tipo perforador-chupador (fig. 241). Su desarrollo es incompleto y transcurre con rapidez. De los huevos (la hembra pone varias decenas) nacen, a los pocos

días, las larvas, que se parecen a la hembra adulta. Al cabo de 2 ó 3 semanas alcanzan la madurez sexual. Son parásitos del hombre: el *piojo de cabeza* (*Pediculus capitis*), el *de los vestidos* (*Pediculus vestimenti*) y la *ladilla* (*Phthirius pubis*). Los piojos, sobre todo los de los vestidos, tienen gran importancia en la transmisión de los gérmenes del *tifus exan-*

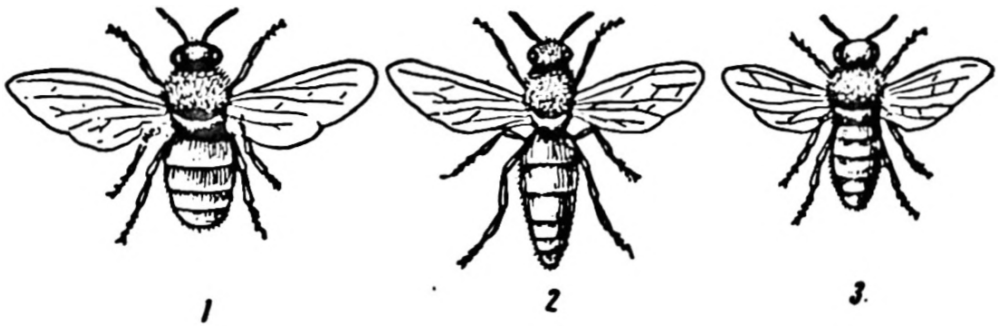


FIG. 243. Abeja común (*Apis mellifera*).

temático y de la *fiebre recurrente*. El del primero (*Rikketsia*) se encuentra en la sangre del enfermo, y cuando el piojo le pica, queda contaminado. Las rikketsias entran en su intestino y son expulsadas con la deyección del hemíptero. El hombre se contamina cuando estas deyecciones penetran en su organismo al rascarse las picaduras o al aplastar los piojos. Las espiroquetas de la fiebre recurrente se establecen en la cavidad general del piojo.

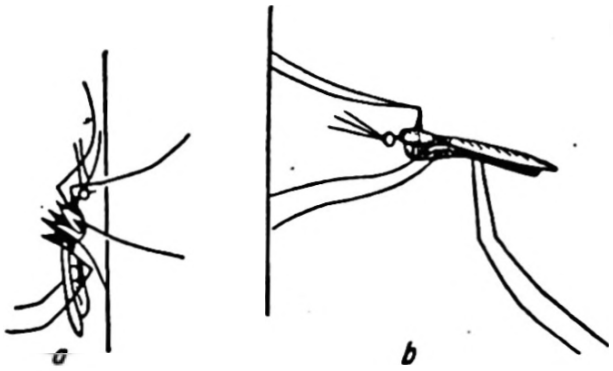


FIG. 244. Mosquitos en actitud de reposo: *a*, Culex; *b*, Anopheles.

No podemos por menos de recordar los heroicos experimentos realizados por G. N. Minj y después por O. O. Mochutkovski, los cuales demostraron que los agentes del tifus exantemático y de la fiebre recurrente se hallan en la sangre del enfermo y son realmente la causa de la enfermedad. Para demostrarlo se inocularon, con el riesgo consiguiente, sangre contaminada.

También tienen importancia los representantes del orden de las *pulgas* (afanípteros). Se trata de un grupo característico de insectos sin alas, de cuerpo comprimido y patas conformadas para el salto. Los ojos son simples; el aparato bucal, adaptado para picar y chupar. La metamorfosis es completa. La *pulga del hombre* (*Pulex irritans*) habita los lugares frecuentados por éste. En condiciones favorables su período de desarrollo oscila entre 2 y 4 semanas, aunque puede prolongarse mucho. Las pulgas adultas viven en el cuerpo del huésped; las larvas se desarrollan en la basura, las grietas del suelo, etc., y se alimentan de deyecciones de los ejemplares adultos y de productos vegetales en descomposición. También pueden picar al hombre las pulgas de las ratas y otras.

Las pulgas *Xenopsylla cheopis, Ceratophyllus tesquorum* (fig. 242) y *Oropsylla silantievi* transmiten el germen de la *peste*. Las pulgas pueden

propagar asimismo el *tifus exantemático de las ratas,* enfermedad que también padece el hombre, y la *tularemia.*

Al orden de los *hemípteros heterópteros* (Heteroptera) pertenece la *chinche común* (*Cimex lectularius*). Sus alas no están completamente desarrolladas. Los órganos bucales son propios para picar. La metamorfosis

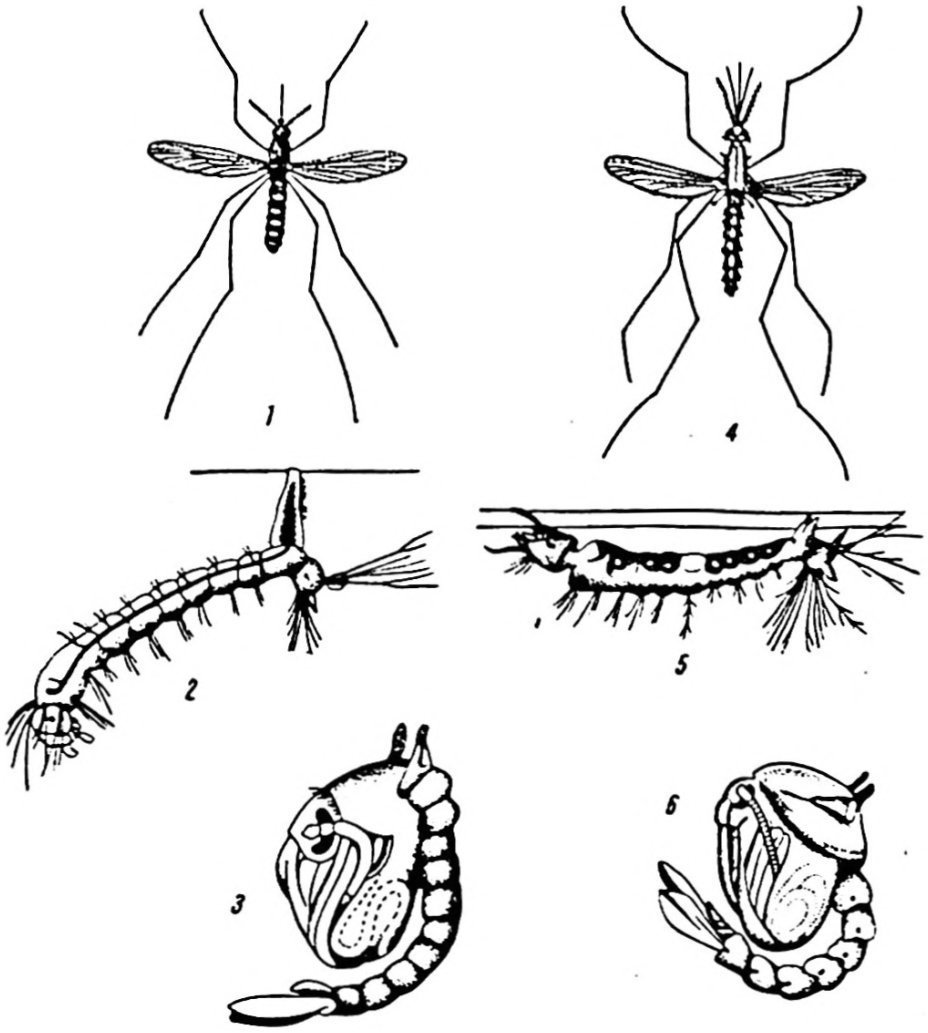


FIG. 245. Mosquito corriente y mosquito del paludismo: 1, hembra de un mosquito corriente (*Culex*); 2, su larva; 3, su ninfa; 4, hembra de un mosquito del paludismo (*Anopheles*); 5, su larva; 6, su ninfa.

es incompleta. La chinche ataca al hombre únicamente para alimentarse, y vive sólo en las habitaciones. La hembra pone en un día hasta 12 huevos, que, según las condiciones, se transforman en individuos adultos en 5 a 8 semanas, o en menos. Las larvas y las ninfas necesitan ingerir sangre para pasar a la fase siguiente; una hembra adulta puede ingerir hasta 7 mg. de sangre. Las personas reaccionan de modo distinto a las picaduras de las chinches. Estos animales se caracterizan por una gran vitalidad, siendo capaces de resistir un frío intenso en las habitaciones y el hambre hasta un año.

Al orden de los *himenópteros* (Hymenoptera) pertenecen los insectos con dos pares de alas, que tienen muy marcadas las nerviaciones.

El aparato bucal es masticador o lamedor. La metamorfosis es completa. Representantes de este orden son las hormigas, las abejas y las avispas. Las picaduras de las abejas (*abeja común, Apis mellifera*) (fig. 243)

Fig. 246. Mosquito *Phlebotomus pappatasii.*

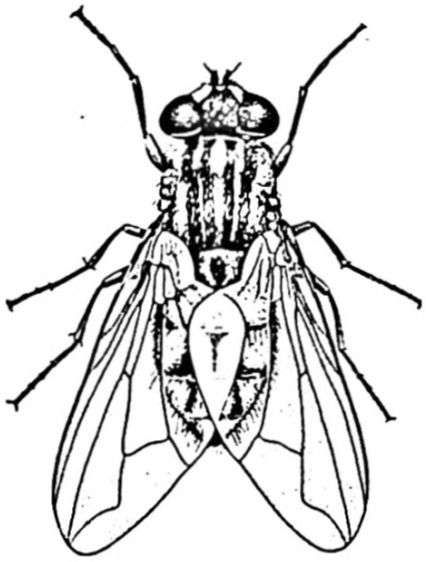


Fig. 247. Mosca doméstica (*Musca domestica*), hembra (cara dorsal).

son muy dolorosas y producen inflamaciones. El veneno de las abejas produce efecto tóxico general; la picadura simultánea de 500 abejas es mortal para el hombre. Sin embargo, en pequeñas dosis este veneno se utiliza con fines medicinales. La miel fabricada por las abejas se conoce desde tiempo inmemorial como un magnífico producto alimenticio y como medicamento.

Como transmisores de enfermedades son muy importantes los *mosquitos*, insectos pertenecientes al orden de los *dípteros* (Diptera). Como su nombre indica, poseen únicamente dos alas, las mesotorácicas. Los rudimentos del segundo par se han convertido en *balancines* (órganos que dirigen el vuelo del animal y en cuya superficie y parte interior se hallan una serie de órganos sensoriales). El aparato bucal está adaptado para perforar o para chupar. El desarrollo de los dípteros va acompañado de metamorfosis completa.

Los transmisores del germen del paludismo humano son los mosquitos anofélidos (género *Anopheles);* en la U. R. S. S., el más extendido es el *Anopheles maculipennis.* Se diferencia de los mosquitos no maláricos (género *Culex*) en que tienen más largos los palpos maxilares, las alas con manchas oscuras y en la posición oblicua al plano del soporte que adoptan en reposo (las patas posteriores son más largas que las anteriores) (figura 244). Los mosquitos anofelinos se encuentran en las regiones septentrionales y meridionales; en la U. R. S. S., los hay hasta en la región de Arcángel, aunque allí no existe el paludismo; esto se debe a que algunas

fases del proceso sexual del *Plasmodium* exigen una temperatura relativamente elevada (no menos de 16°), que es rara en el norte, por la tarde y de noche, que es cuando vuelan los mosquitos. Invernan en sótanos y en establos, y en verano penetran en las viviendas. Después de haber chupado la sangre, las hembra fecundada del *Anopheles* pone los huevos en las charcas y aguas estancadas, donde se transforman en larvas móviles (figura 245). En el agua, la larva respira el aire atmosférico con ayuda de un sifón relacionado con las tráqueas, para lo cual sube a la superficie de tiempo en tiempo. En el agua, la larva se transforma en ninfa, de la que sale el mosquito adulto.

La lucha contra el paludismo se basa en el estudio de la biología del mosquito. Se lleva a cabo con ayuda de procedimientos curativos y mediante el aniquilamiento de los mosquitos anófeles en las distintas fases de su desarrollo, fumigando los lugares donde invernan, por la desecación de los pantanos, combatiendo los insectos adultos en las viviendas (con ayuda de insecticidas vegetales o sintéticos, como los polvos DDT y Piretrum) y destruyendo las larvas mediante la pulverización de los estanques con diferentes toxicidas (en polvo, en estado de aceites o en forma de suspensiones). Ofrecen interés los métodos biológicos de lucha contra los anofelinos, consistentes en utilizar peces vivíparos, *gambusias*, que se comen las larvas de los mosquitos.

Algunos mosquitos (*Culex, Aëdes*) transmiten el germen de la encefalitis otoñal.

Los psicódidos flebotomos (*Phlebotomus*) son insectos semejantes a pequeños mosquitos (fig. 246), que chupan la sangre produciendo picaduras muy dolorosas. Las diferentes especies de flebotomus son las transmisoras del *botón de Oriente* y del *kala-azar;* además propagan el *dengue* o *fiebre de pappataci,* cuyo germen pertenece a los virus filtrables.

Uno de los primeros lugares como transmisor de las enfermedades infecciosas le corresponde a la *mosca doméstica* (*Musca domestica*) (figura 247).

Se alimenta de toda clase de desperdicios y de lo que come el hombre, entrando en contacto con productos que pueden o no estar infectados; los microbios, los quistes de los protozoarios y los huevos de los helmintos no sufren la influencia de sus jugos digestivos y permanecen vivos después de atravesar su intestino. A consecuencia de las frecuentes defecaciones y regurgitaciones, las moscas siembran por doquier organismos vivos, que también transportan en sus patas. El número de microorganismos que se encuentra en la superficie del cuerpo de una mosca puede llegar a seis millones y en el intestino hasta 28.000,000. Las moscas se reproducen con gran rapidez. Llegan a poner 160 huevos, de los cuales al cabo de un día salen larvas que en 1 ó 2 semanas forman un capullo y transcurridas 1 ó 2 semanas más aparecen las moscas. Todo el desarrollo requiere aproximadamente un mes. El lugar preferido de las larvas de las moscas para desarrollarse es el estiércol, los restos animales, los vegetales en descomposición, etc. Las moscas propagan el *tifus abdominal, las fiebres paratifoideas,* la *disentería,* el *cólera,* la *tuberculosis,* la *difteria,* la *fiebre esplénica* y algunas *enfermedades de los ojos.* En ellas se han descubierto más de 40 especies de microbios. También transmiten helmintos, al trasladar consigo sus huevos.

La lucha contra las moscas se lleva a cabo en distintas direcciones:

desinfectando los lugares donde crecen las larvas, destruyendo las formas adultas, protegiendo contra ellas las viviendas, los productos alimen-

FIG. 248. Mosca picadora (*Stomoxys calcitrans*), hembra.

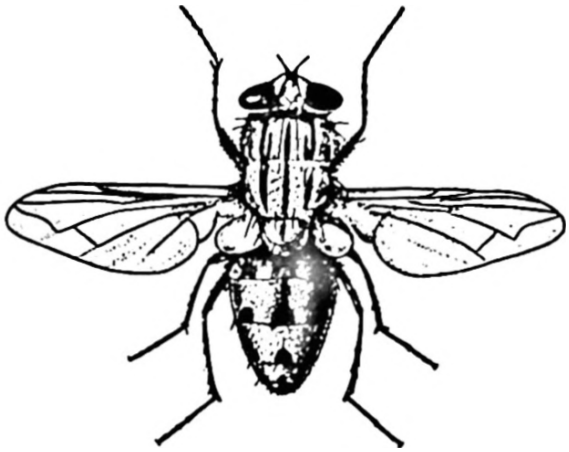


FIG. 249. Mosca de Wohlfahrtia (*Wohlfahrtia magnifica*), hembra.

ticios y sobre todo, sus residuos, e impidiendo que se aproximen a los focos infecciosos.

La *mosca picadora* (*Stomoxys*) es muy parecida a la doméstica y de casi igual tamaño, pero tiene las alas más extendidas y la trompa más larga y resistente (fig. 248). Penetra en las viviendas accidentalmente, pudiendo ser el agente portador de la *fiebre esplénica*, de la *fiebre recurrente* y de la *tularemia*.

La mosca tse-tsé (*Glossina*) transmite el germen de la *enfermedad del sueño*.

FIG. 250. Miasis producida por las larvas de la mosca de Wohlfahrtia.

La *mosca de Wohlfahrtia* (*Wohlfahrtia magnifica*) es el agente patógeno de la *miasis* (fig. 249). Las hembras de estas moscas son inofensivas y se alimentan con el néctar de las flores, pero desarrollan sus larvas en el cuerpo de los animales y del hombre (ojos, nariz, orejas, heridas purulentas, etc.). Cuando logran penetrar en el interior, a través de los rasguños de la piel, destruyen los tejidos, e incluso los huesos, pudiendo llegar hasta los senos maxilares y las encías. Al profundizar en los tejidos, las larvas producen intensos dolores; las partes dañadas se irritan, supuran y dan lugar a procesos gangrenosos. Se han dado casos de que las miasis producidas por las larvas causen la muerte. El desarrollo de la larva dura 3 ó 4 días, en el transcurso de los cuales producen grandes daños (fig. 250). En la U. R. S. S., la mosca de Wohlfarthia habita en la parte central y meridional del país.

El problema del origen de los insectos no puede hoy día considerarse resuelto. Es difícil decidir de manera definitiva si tienen antecesores comunes a los de los demás artrópodos o constituyen una rama aislada, que se independizó de los anélidos. Hay biólogos inclinados a admitir una re-

lación filogenética entre los insectos y los artrópodos acuáticos inferiores. La mayoría estima que los artrópodos de respiración traqueal proceden de los anélidos, independientemente de los que respiran por medio de branquias y de los que están provistos de quelíceros. Una cosa es indudable: que todos los artrópodos proceden de los primitivos anélidos poliquetos.

TIPO VIII. MOLUSCOS (MOLLUSCA)

Los moluscos son animales de cuerpo blando, acuáticos, y con menos frecuencia terrícolas. Ofrecen simetría bilateral, aunque en muchos de

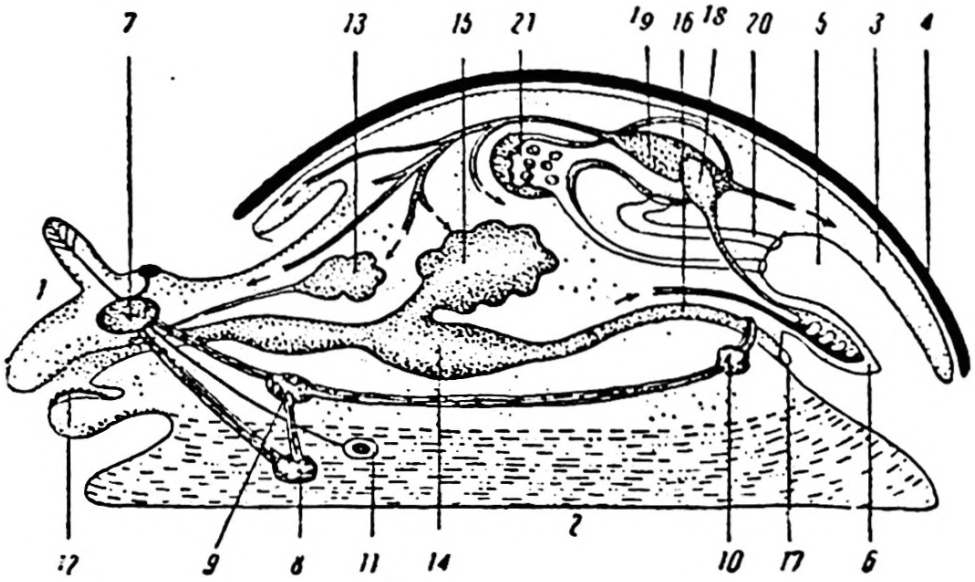


Fig. 251. Estructura esquemática de un molusco: 1, cabeza; 2, pie; 3, manto; 4, concha; 5, cavidad paleal; 6, branquia; 7, ganglio nervioso cefálico; 8, ganglio nervioso pedial; 9, ganglio nervioso pleural; 10, ganglio nervioso visceral; 11, estatocito; 12, rádula; 13, glándula salival; 14, estómago; 15, hígado; 16, intestino terminal; 17, ano; 18, aurícula; 19, ventrículo; 20, corazón; 21, glándula genital.

ellos el cuerpo es *asimétrico,* por estar arrollado en hélice o en espiral. Se caracterizan por la falta de segmentación (sus caracteres se revelan únicamente en algunas formas).

La mayoría de los moluscos posee una *concha protectora,* constituída comúnmente de una sola pieza, aunque a veces es bivalva. La parte interior de la concha está recubierta por un repliegue del tegumento denominado *manto.* Los moluscos son animales con *cavidad general,* pero en los individuos adultos este celoma se reduce bastante; los espacios que quedan entre los órganos están rellenos con un *parénquima.* El órgano de locomoción lo constituye el pie, que es una prominencia muscular del cuerpo (fig. 251).

La mayoría de los moluscos poseen en la cavidad bucal un aparato para triturar la comida, consistente en una especie de lima o *rádula.*

Tienen glándulas *salivales* e *hígado*. El intestino, que está curvado y forma a modo de un lazo, atraviesa en ciertas especies el pericardio.

Los moluscos acuáticos respiran mediante *branquias* o *ctenidios*, que varían según las especies, pero que en la fundamental constan de unas laminitas branquiales o de filamentos por los que pasan los vasos sanguíneos. Cuando las branquias se reducen, la función respiratoria la realiza la superficie del cuerpo. En los moluscos terrestres una parte da la cavidad paleal se convierte en *pulmón*.

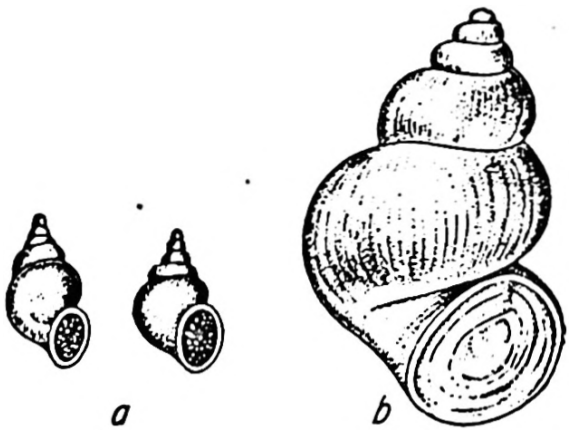


FIG. 252. Gasterópodos, huéspedes intermedios de los trematodos: *a*, *Limnaea truncatula*, huésped de la duela del hígado; *b*, *Bithyinia leachi*, huésped del *Opistorchis felineus* (aumentados).

El aparato circulatorio es bastante complicado; se compone de un *corazón*, que consta de un *ventrículo* y una o dos *aurículas*, que en raros casos llegan a cuatro. Los vasos forman una tupida red, aunque, a pesar de todo, el sistema *no es cerrado* y la sangre baña directamente los órganos.

El aparato excretor lo constituyen los riñones, que son *metanefridios* modificados.

El sistema nervioso está integrado por ganglios unidos por comisuras nerviosas. En una serie de formas los ganglios nerviosos anteriores se funsionan, dando origen al cerebro.

Los órganos sensoriales están desarrollados de manera muy diversa. Existen unos órganos singulares quimiosensibles, los *osfradios*, que sirven, al parecer, para determinar la calidad del agua. Son frecuentes los *estatocistos*, órganos que facilitan la orientación en el espacio. Los ojos están representados en la mayoría de los casos por un par de *ojos cefálicos*. Algunos moluscos tienen atrofiada la cabeza, lo que conduce a la pérdida de dichos ojos; en estos casos se desarrollan *ojos no cefálicos*, que pueden hallarse en unos tentáculos dorsales del tegumento y a lo largo del borde libre del manto.

Hay moluscos unisexuales y hermafroditas. El aparato genital es siempre complicado. El desarrollo embrionario de los moluscos se parece mucho al de los anélidos, originándose una larva muy semejante a la trocófora de estos gusanos.

Los moluscos están representados por una gran cantidad de especies (cerca de 105,000) y se caracterizan por su gran variedad.

El tipo Moluscos se subdivide en seis clases: 1) placóforos (Loricata); 2) solenogastros (Solenogastres); 3) gasterópodos (Gastropoda); 4) escafópodos (Scaphopoda); 5) lamelibranquios (Bivalvia o Lamellibranchiata). y 6) cefalópodos (Cephalopoda).

Las dos primeras clases están constituídas únicamente por formas marinas. La clase más numerosa es la de los *gasterópodos*; los hay marinos, dulceacuícolas y terrestres, y están extendidos por todo el globo. El rasgo característico principal de los representantes de esta clase es la asimetría de la concha y de los órganos internos. La concha de la inmensa mayoría está arrollada en hélice hacia la derecha; algunos la tienen hacia la

izquierda. Numerosos gasterópodos, tanto terrestres como de agua dulce, son huéspedes intermedios de gusanos parásitos, especialmente de trematodos. Entre ellos figuran: la *Limnea truncatula,* huésped intermedio de la duela del hígado, y el *Bithynia leachi* (fig. 252), huésped intermedio del *Opisthorchis felineus.* Los *escafópodos* son una clase poco numerosa de moluscos exclusivamente marinos. Los *lamelibranquios* viven en los fondos marinos y en los de los ríos, estanques y lagos, y llevan un régimen de vida relativamente sedentario. Su representante típico es el *Anodonta.* Los moluscos de organización más elevada pertenecen a la clase de los *cefalópodos.* La mayoría de ellos carece de concha exterior, habiéndose ésta transformado en una interna, que sirve al animal de sostén. El cuerpo lo constituyen la cabeza coronada de tentáculos o brazos, un sifón o embudo y el tronco. El sistema nervioso está muy desarrollado y posee un cerebro de compleja estructura. También se hallan bien desarrollados los órganos sensoriales, destacando por su complicación los ojos. Los cefalópodos actuales integran unas 200 especies, siendo las más conocidas los pulpos, los calamares y las jibias o sepias.

De este resumen se desprende que los moluscos tienen una estructura muy especial; hay, sin embargo, una serie de rasgos que permiten hablar de sus afinidades con los anélidos. Entre ellos figuran: la cavidad general del cuerpo (celoma), el carácter de los órganos excretores, la formación durante el periodo evolutivo del animal de larvas trocóforas y la semejanza del proceso de desarrollo embrionario (segmentación espiral del huevo). Es evidente que los moluscos y los anélidos actuales tienen antecesores comunes. En su desarrollo, los moluscos se han ido adaptando a un modo de vida más o menos pasivo.

TIPO IX. EQUINODERMOS (ECHINODERMATA)

Los equinodermos son animales marinos cuyo cuerpo posee una *simetría radiada* bastante regular (suelen tener cinco radios). Basándose en ello se les agrupaba al principio con los celentéreos. Luego se vio, sin embargo, que su estructura es mucho más complicada y que la simetría radial es un fenómeno secundario; a lo largo del proceso de desarrollo individual, la simetría bilateral de las larvas se transforma en la radial, propia de los individuos adultos. Esta simetría se relaciona con la vida fija propia de muchos equinodermos, y extendida, sobre todo, entre las primitivas formas fósiles.

Integran este tipo varias clases. Las *estrellas de mar* (*Asteroideos*) (figura 253) son las que manifiestan con mayor evidencia la simetría radiada; entre los representantes de la clase de los *erizos de mar* (*Equinoideos*) se encuentran formas que se apartan hacia la simetría bilateral, los erizos irregulares, y entre los *holoturioideos* (*Holothuroidea*), la simetría radiada aparece muy encubierta por la disposición bilateral de muchos órganos.

Es muy interesante la estructura de su piel, que consta de dos capas: una exterior *epitelial* y una interna de tejido conjuntivo, o dermis, de origen mesodérmico. Semejante estructura de la piel es característica de animales de un tipo superior, los cordados.

Exteriormente el cuerpo aparece recubierto por numerosas *espinas* o *púas*. Es típico de los equinodermos la existencia de un *esqueleto calcáreo*, que pertenece al tegumento interno, siendo de formación intracelular. La unión de pequeñas piezas esqueléticas da lugar a otras más grandes. En las estrellas de mar, constituyen el esqueleto plaquitas aisladas; en

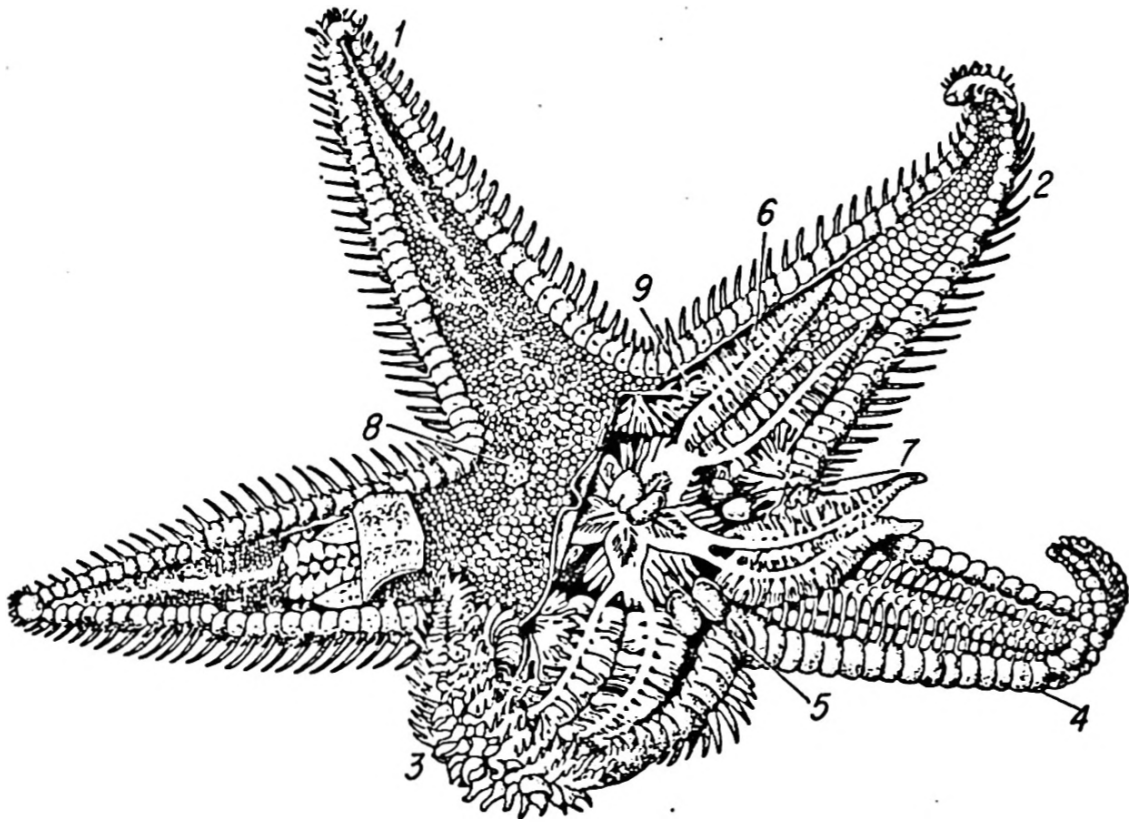


FIG. 253. Anatomía de una estrella de mar (*Asterias rubens*), vista por su cara dorsal: 1, brazo o radio; 2, brazo abierto; (se ven cuatro filas de ampollas de los pies ambulacrales); 3, pies ambulacrales, en la porción inferior (ventral u oral) del radio; 4, esqueleto del brazo; 5, estómago; 6, ciegos pilóricos radiales (pares); 7, apéndices rectales; 8, madreporito; 9, glándula genital.

muchos equinoideos se forma un caparazón único, en los holoturioideos se presentan en forma de corpúsculos calcáreos esparcidos. Solamente el esqueleto de los equinoideos presenta en la superficie del cuerpo espinas manifiestas.

El sistema nervioso ofrece simetría radial. Alrededor del eje longitudinal principal, frecuentemente alrededor del aparato digestivo, hay un *anillo nervioso*, del que salen las *ramas nerviosas* radiales. Aparte de esta porción principal del sistema nervioso, situado en la mayoría de los casos casi totalmente en el epitelio exterior, hay otras dos, situadas más internamente. Los equinodermos tienen bien desarrollada la *cavidad general o celoma*: la cubre un epitelio y está llena de líquido celómico.

Es muy característico el sistema llamado *acuífero* o *ambulacral*, un sistema de cavidades (con frecuencia, de forma tubular) llenas de líquido (fig. 254), que le sirve principalmente al animal como medio de locomo-

ción: realiza también funciones excretoras, interviniendo algunas veces en el proceso respiratorio. Las estrellas y erizos de mar se sirven para respirar de *branquias cutáneas*. El aparato circulatorio está poco desarrollado.

Por regla general, los equinodermos son *unisexuales*. La fecundación de los huevos, igual que su desarrollo, suele tener lugar en el agua. La evolución va acompañada de una metamorfosis complicada. Las características del desarrollo embrionario acercan los equinodermos a los cordados: la gastrulación se realiza por *invaginación* (depresión de las paredes de la blástula): el blastoporo, al originarse la larva, se transforma en orificio anal y la boca surge de nuevo (grupo de los *celomados*). Como hemos señalado anteriormente, les acerca también a los cordados el hecho de tener la piel constituída por dos capas y el esqueleto, de origen mesodérmico.

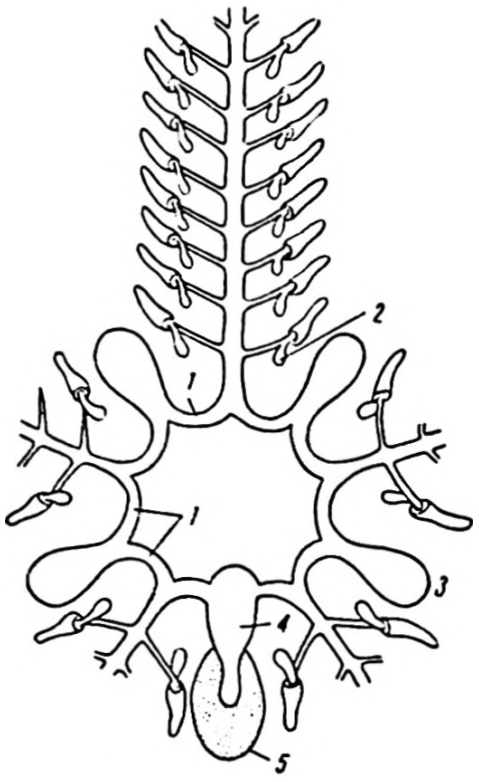


FIG. 254. Esquema del sistema ambulacral de la estrella de mar: 1, canal anular; 2, ampollas de los pies ambulacrales; 3, vesículas de Poli; 4, canal pétreo; 5, placa madrepórica.

Por lo tanto, una serie de rasgos permite considerar que los equinodermos tienen antecesores comunes con los animales del tipo superior, los cordados. Unos y otros deben derivar de organismos de simetría bilateral, que nadaban libremente. Los precursores de los equinodermos actuales adoptaron un régimen de vida fijo poco móvil, circunstancia ligada a la adquisición de simetría radial, y, en parte, a su evolución regresiva. Los antecesores de los cordados se caracterizaban por una vida activa, y por ello su evolución fue progresiva.

TIPO X. CORDADOS (CHORDATA)

Pertenecen al tipo de los cordados todos los animales vertebrados y también algunos grupos de formas marinas primitivas, muy diversas por su modo de vida y estructura. A pesar de la gran variedad, todos los cordados ofrecen un plan estructural común, que se refleja en una distribución determinada de los principales sistemas de órganos (fig. 255). No siempre aparecen claramente todos los rasgos fundamentales en el animal adulto; son característicos fundamentalmente de los embriones.

El rasgo más típico de los cordados consiste en la presencia de un *esqueleto axil*, la cuerda dorsal o notocordio, que tiene la forma de un eje continuo o segmentado. El *notocordio* (*chorda dorsalis*) es un cordón elástico y flexible, constituído por células muy vacuolizadas, de origen endodérmico. Solamente las formas inferiores conservan durante toda la vida la cuerda dorsal; en las superiores es un órgano embrionario al que luego sustituyen las vértebras.

Encima del esqueleto axil se encuentra el *sistema nervioso central,* que tiene forma tubular. La cavidad interior del tubo se llama *neurocelio* (neurocœl). El tubo nervioso es de origen ectodérmico, y comienza por una depresión longitudinal que se forma en la parte dorsal del embrión.

Debajo del esqueleto axil se halla el *tubo digestivo,* que comienza en el *orificio bucal* y termina en el *anal.* Casi todo el conducto intestinal es endodérmico; el ectodermo forma únicamente la pequeña sección anterior y la diminuta porción final. La parte anterior del intestino de los cordados inferiores está perforada por una serie de *hendiduras branquiales.*

Los animales acuáticos conservan las hendidudas branquiales durante toda su vida; los terrestres las tienen únicamente en el estado embrionario y no se extienden de parte a parte.

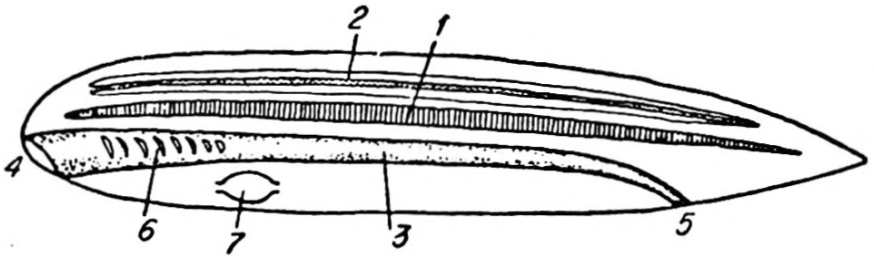


Fig. 255. Esquema general de la estructura de un animal cordado: 1, notocorda; 2, sistema nervioso central; 3, tubo digestivo; 4, orificio bucal; 5, ano; 6, aberturas branquiales; 7, corazón.

En la región abdominal, debajo del tubo digestivo, se encuentra el órgano central del aparato circulatorio, el *corazón* o la vesícula que lo sustituye.

La distribución de los órganos, tal como la acabamos de describir, es un rasgo característico que distingue a todos los cordados. Al mismo tiempo, éstos poseen una serie de estructuras, que se presentan también en algunos tipos de invertebrados. Los rasgos comunes a ellos y a otros tipos son: la *simetría bilateral* del cuerpo, la *disposición en metámeros* de algunos sistemas como el esquelético (vértebras), el muscular (segmentos musculares), el nervioso periférico (nervios cefalorraquídeos), en parte los vasos sanguíneos, y también la *boca secundaria* (rasgo común con los equinodermos) y la presencia de una *cavidad general* o *celoma,* que aproxima los cordados a los anélidos y equinodermos.

Los cordados se dividen en cuatro subtipos: I *hemicordados* (Hemichordata); II *tunicados* o *urocordados* (Tunicata o Urochordata); III *cefalocordados* o *acranios* (Acrania) y IV *vertebrados* (Vertebrata o Craniata).

SUBTIPO I. HEMICORDADOS (HEMICHORDATA)

Los hemicordados constituyen un grupo poco numeroso de animales marinos, muy específicos. Su representante típico es el *Balanglossus* (figura 256). Su cuerpo vermiforme, de simetría bilateral, está dividido en tres regiones: *trompa, collar* y *tronco*. El orificio bucal conduce a la *faringe,* perforada por las *aberturas branquiales,* que comunican con el exterior; la faringe se prolonga en el *verdadero intestino*. La trompa contiene un órgano pequeño, constituido por células vacuolizadas de gran tamaño; es un abultamiento ciego del intestino que corresponde al *rudimento* del *notocordio*. El aparato circulatorio es abierto y consta de una vesícula ventral y otra dorsal. El sistema nervioso ofrece interés, porque además del cordón nervioso dorsal hay otro ventral, aunque mucho menos desarrollado. El cordón dorsal se halla en las primeras fases en la superficie, en el epitelio, pero después se deprime bajo la piel y se abarquilla para constituir un *tubo neural,* que se aísla completamente de la pared del cuerpo. Más adelante se reduce en algunos sitios el diámetro de este tubo. El sistema excretor está representado por un pliegue especial, el *glomérulo*. Es de indudable interes la presencia en el *Balanoglossus* de músculos, constituidos por una capa exterior de fibras musculares en forma de anillos y por otra interior de fibras longitudinales.

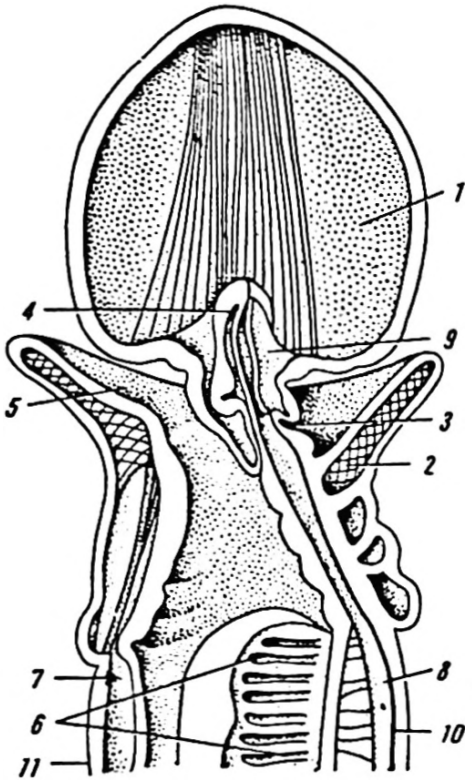


FIG. 256. *Balanoglossus*. Sección sagital esquemática de la parte anterior: 1, trompa; 2, collar; 3, poro del collar; 4, protuberancia, que se considera como el notocordio; 5, boca; 6, aberturas branquiales; 7, vaso sanguíneo ventral; 8, vaso sanguíneo dorsal; 9, vesícula cardiaca; 10, cordón nervioso dorsal; 11, cordón nervioso ventral.

Por tanto, los hemicordados muestran semejanza con los cordados genuinos y, al mismo tiempo, tienen una serie de rasgos comunes con los anélidos. Les une a los primeros la presencia de un *notocordio rudimentario,* de un *tubo neural dorsal,* de *aberturas branquiales,* de un *celoma* y de una *boca secundaria*. Con los anélidos tienen de común la existencia de una túnica o pared *músculo-epitelial* y de un *cordón nervioso ventral*.

Los hemicordados ofrecen extraordinario interés desde el punto de vista de la evolución, ya que sus rasgos, característicos de los cordados y de los invertebrados, permiten establecer una relación entre grupos lejanos del reino animal.

Durante largo tiempo se incluyó a los hemicordados entre los gusanos, hasta que las investigaciones de A. O. Kovalevski demostraron su estrecha relación con los cordados.

SUBTIPO II. TUNICADOS O UROCORDADOS (TUNICATA O UROCHORDATA)

Los tunicados o urocordados constituyen un grupo de animales marinos diversos; lo característico en ellos es el cuerpo encerrado en una envoltura, la *túnica,* que está constituída por una sustancia de composición semejante a la celulosa vegetal. La clase más extendida corresponde a las *ascidias* (*Ascidiae*) (fig. 257), que en estado adulto viven fijas. Su aspecto exterior recuerda un odre con dos cuellos, ya que en el extremo libre del cuerpo presenta dos cortos salientes, de los cuales el superior corresponde al *sifón bucal,* y el lateral, al *sifón cloacal.* La boca comunica con la faringe, cuyas paredes están perforadas por numerosas aberturas branquiales. A continuación de la faringe hay un esófago de longitud reducida y un estómago, al que sigue un intestino que va a dar a la cavidad del sifón cloacal. El intercambio gaseoso se realiza al pasar el agua por las aberturas branquiales, que están rodeadas de vasos sanguíneos; el agua penetra por el sifón bucal y llega, atravesando las aberturas branquiales, a una cavidad *peribranquial* o *atrial,* de donde pasa a la cloaca, saliendo al exterior a través del sifón cloacal. El movimiento de la sangre está determinado por el funcionamiento del *corazón,* que se encuentra en la parte ventral. El sistema nervioso consta de un *ganglio* con un pequeño número de ramificaciones en la parte dorsal, no existiendo órganos sensoriales ni sistema excretor. La reproducción es sexual (todas las ascidias son hermafroditas) y asexual (por gemación).

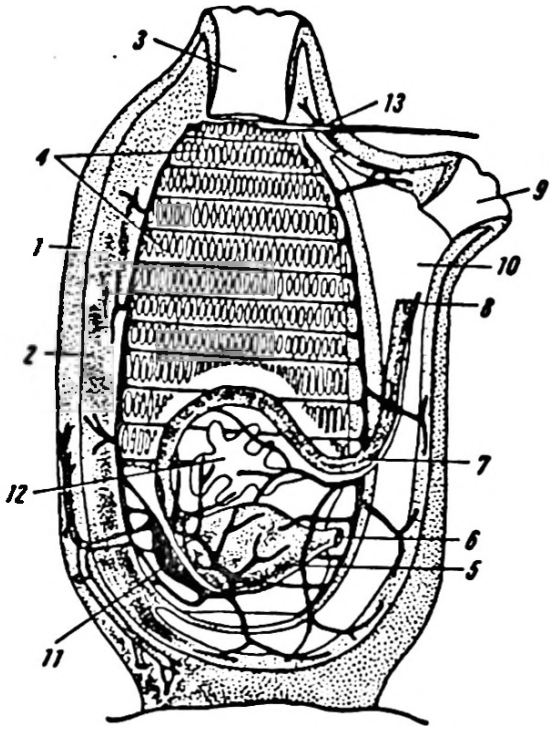


FIG. 257. Ascidia. Sección sagital esquemática: 1, túnica; 2, manto; 3, cavidad del sifón bucal; 4, aberturas branquiales; 5, estómago; 6, tubo digestivo; 7, intestino recto; 8, ano; 9, cavidad del sifón cloacal; 10, cavidad atrial; 11, corazón; 12, glándula genital; 13, ganglio nervioso.

Ahora bien, ¿por qué se incluye a las ascidias entre los animales cordados si no tienen notocardio, ni neurocele, ni distribución metamérica de los órganos y, sí, en general, toda su organización se diferencia tanto de la de los cordados típicos? La respuesta nos la da el estudio de las fases larvarias de la ascidia. Del huevo fecundado sale una larva microscópica que nada libremente. Su aspecto es el de un renacuajo, con una cola larga y musculosa (fig. 258) dentro de la cual se halla un *notocordio* y encima de éste un *tubo neural.* A las pocas horas de haber salido del huevo, la larva se fija a algún objeto submarino y experimenta una *metamorfosis regresiva;* la cola, los músculos, el notocordio y la mayor parte del sistema nervioso se atrofian sin dejar huella, el resto del sistema nervioso se concentra en un ganglio, se forma la túnica, etc., y la larva se transforma paulatinamente en la ascidia adulta, que en adelante vivirá fija.

El desarrollo de las ascidias, que las caracteriza como una forma de transición hacia los animales típicamente cordados, ha sido estudiado y descrito por Kovalevski. Según la opinión de la mayoría de los investigadores, los tunicados son descendientes de animales típicamente cordados que han experimentado una evolución regresiva.

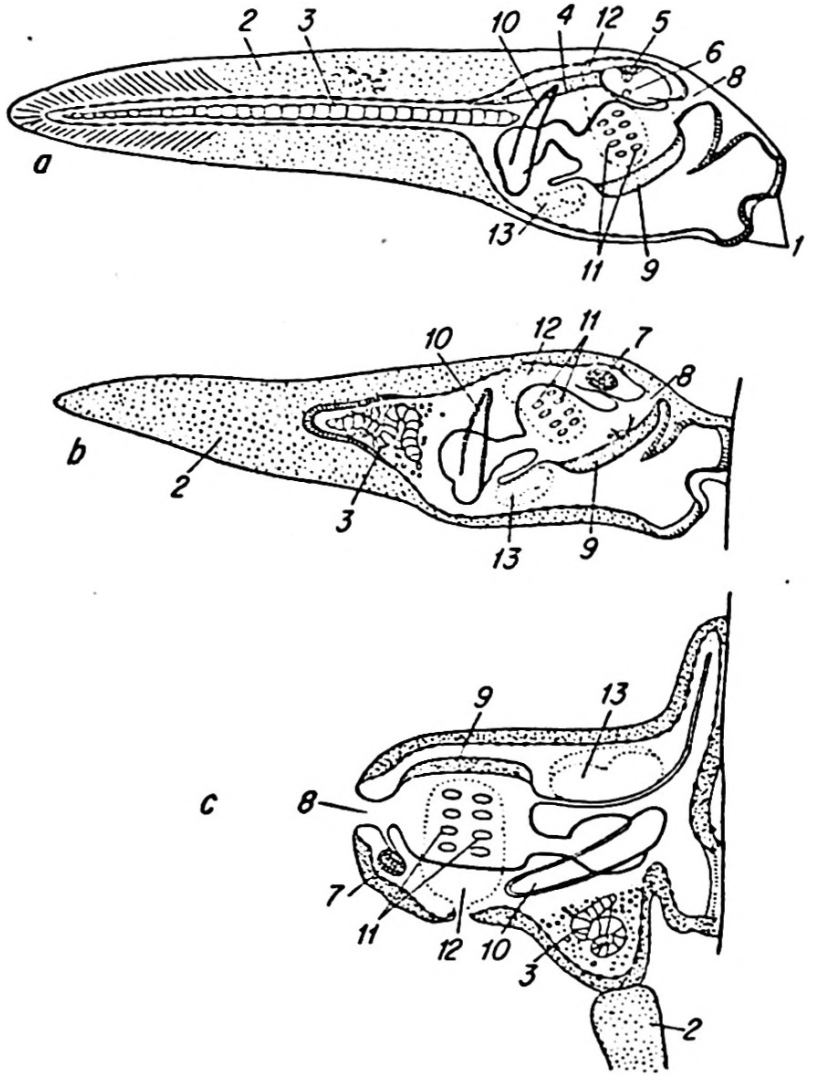


FIG. 258. Transformación de las larvas en una ascidia adulta: *a*, fase de larva que nada libremente; *b*, larva que acaba de fijarse; *c*, fase algo posterior; 1, papilas adhesivas; 2, cola; 3, notocordio; 4, sistema nervioso central; 5, ojo; 6, estatocisto; 7, ganglio nervioso; 8, boca; 9, endostilo; 10, intestino terminal; 11, aberturas branquiales; 12, cavidad atrial; 13, corazón.

SUBTIPO III. ACRANIOS (ACRANIA)

Forman un grupo reducido de cordados primitivos. Conservan durante toda su vida los rasgos fundamentales del tipo y en eso se diferencian notablemente de los tunicados. El subtipo acranios lo integra una clase, la de los *cefalocordados* (Cephalochordata).

Su representante genuino es la *lanceta de mar* o anfioxo (*Branchiostoma lanceolatum*). Ofrece especial interés por tratarse de un animal de or-

ganización muy sencilla, pero que posee al mismo tiempo la estructura típica de cualquier cordado. Empezando por la lanceta de mar, todos los representantes del tipo de los cordados poseen el mismo plan estructural y, si en las formas superiores la organización complicada de algunos sistemas hace que este plan no se revele con tanta claridad, en cambio, la organización tan simple del *Branchiostoma* nos lo muestra de un modo especial.

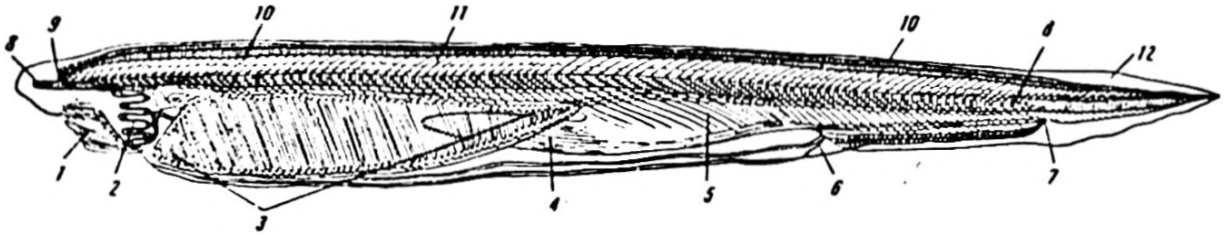


FIG. 259. Aspecto lateral de conjunto del *Branchiostoma lanceolatum*: 1, cirros; 2, tentáculos del velo; 3, aberturas branquiales; 4, ciego hepático; 5, intestino; 6, poro abdominal; 7, ano; 8, notocordio; 9, mancha ocular; 10, tubo neural; 11, ojos de Hesse; 12, aleta caudal.

La lanceta de mar es un animal translúcido, de pequeño tamaño (hasta 8 cm. de longitud) (fig. 259), que habita en los mares templados. Es poco móvil y se entierra en la arena, sacando fuera únicamente la parte anterior del cuerpo. No tiene cabeza diferenciada del resto del cuerpo y carece de apéndices pareados. A lo largo del dorso corre una *aleta dorsal* de poca altura, que se prolonga en la extremidad posterior del cuerpo, dando lugar a otra *caudal*, más alta, y que recuerda una lanza (de ahí el nombre del animal). Una aleta ventral, corta y estrecha, cubre el extremo posterior del cuerpo. En la parte anterior se encuentra el *orificio bucal*, rodeado de pequeños cirros tentaculares; a partir de la boca se extienden hacia atrás dos repliegues paralelos, las *metapleuras*.

El cuerpo del *Branchiostoma* está recubierto por la piel, formada, como sucede en los vertebrados, por la *epidermis* y la *dermis*. Igual que en los invertebrados, la epidermis es una simple capa y está recubierta por una *cutícula:* el corium o dermis lo constituye en lo fundamental un tejido gelatinoso, que casi no tiene células. En la piel aparecen unas glándulas unicelulares, a semejanza de lo que sucede en los anélidos.

Los músculos están constituidos por segmentos, los *miómeros* o *miótomos*, entre los cuales hay unas capas de tejido conectivo, los *mioseptos*.

A lo largo del cuerpo se extiende el *notocordio*, que es un eje esquelético consistente y muy elástico. El notocordio está rodeado de una envoltura de tejido carente de células, que le sirve de sostén. De esta envoltura parten unas protuberancias, que rodean el tubo nervioso y se prolongan a modo de tabiques conjuntivos de apoyo, dispuestos entre los músculos y alrededor de las cavidades. Es especialmente complicada la red de tabiques del aparato branquial.

El sistema nervioso central tiene la configuración de un *tubo*, con una cavidad interior muy angosta; esta cavidad continúa en la parte dorsal, transformándose en la parte central en una estrecha ranura. Por tanto, la médula es en realidad un tubo que no está completamente cerrado. En la

extremidad anterior o cefálica del cuerpo, el tubo nervioso no llega hasta el final del notocordio, que se prolonga mucho. No hay un cerebro diferenciado. El neurocele forma en la parte anterior un ensanchamiento, que en los individuos jóvenes se comunica con el llamado *lóbulo olfatorio*. La lanceta de mar no posee órganos sensoriales desarrollados; únicamente, a lo largo del canal central del tubo nervioso se hallan unas formaciones sensibles a la luz, los llamados *órganos de Hesse*. Los nervios periféricos están dispuestos metaméricamente, como los segmentos musculares, A cada uno de éstos le corresponden dos pares de nervios: uno dorsal y otro ventral.

Detrás del orificio bucal se halla la *faringe*, que es muy ancha y está perforada por un gran número (más de 100) de *aberturas branquiales*. Las aberturas se abren en una cavidad *peribranquial* o *atrial*, que se comunica con el exterior por medio de un orificio, el *atrioporo* o *poro abdominal*.

El movimiento del agua que baña los tabiques branquiales y los vasos sanguíneos que llegan a ellos, se realiza mediante el movimiento de los cirros del epitelio intestinal, que también sirve para que pasen por el tubo digestivo las partículas alimenticias. En la parte ventral de la faringe se encuentra el *endostilo* (surco tapizado de células glandulares y vibrátiles). En el orificio bucal, el endostilo se bifurca, elevándose dos franjas hacia la parte dorsal, donde se transforma en un *surco epibranquial* que se dirige hacia atrás, hacia el intestino. Las células del endostilo producen una mucosidad que envuelve las partículas nutritivas que se precipitan al pasar el agua. El movimiento de los cilios arrastra las partículas y la mucosidad hacia el orificio bucal, elevándose a continuación y yendo por el surco peribranquial al *intestino*. Por tanto, la respiración y la nutrición del *Branchiostoma* se realizan de un modo pasivo, como resultado de la actividad del epitelio vibrátil. El intestino no está diferenciado; de su porción anterior parte un *ciego hepático*, homólogo al hígado de los vertebrados.

El aparato circulatorio es primitivo; falta el corazón, hay pocos vasos, y en este sentido el *Branchiostoma* recuerda a los gusanos. Sin embargo, según el plan estructural, el aparato circulatorio de la lanceta de mar es el prototipo del de los vertebrados superiores, a causa de lo cual es necesario detenerse en algunos de sus detalles.

Este aparato (fig. 260) es cerrado, falta el corazón, haciendo sus veces la *aorta ventral* y los pequeños ensanchamientos de las arterias branquiales. La sangre venosa va por la aorta ventral a las *arterias branquiales*, desde donde, enriquecida con oxígeno, continúa por los vasos *epibranquiales*. De éstos avanza por las *arterias carótidas* a la cabeza, y retrocede por la aorta dorsal al resto del cuerpo; ésta presenta ramificaciones hacia todos los órganos. La sangre venosa procedente de la parte anterior del cuerpo se reúne en dos *venas cardinales anteriores*, y la de la posterior, en las *cardinales posteriores*.

Las venas cardinales anteriores y posteriores se unen en dos vasos, los *canales de Cuvier*. Del intestino, la sangre venosa pasa por la *vena infraintestinal*, que en el ciego hepático se divide en capilares, dando lugar al *sistema porta-hepático*. Los capilares se reúnen en la *vena hepática*, que al fundirse con los canales de Cuvier da lugar a la aorta ventral.

Los órganos excretores tienen su asiento en la región de las aberturas branquiales y consisten en nefridios con *solenocitos*, que comienzan en el

celoma y van a parar a la cavidad atrial. Recuerdan extraordinariamente a los nefridios de algunos poliquetos.

Las lancetas de mar son unisexuales; gónadas de apariencia semejante están distribuídas metaméricamente a ambos lados de la cavidad peribranquial. No existen conductos deferentes y los productos sexuales maduros se vierten en la cavidad atrial mediante la rotura de las paredes de las gónadas. La fecundación tiene lugar en el agua, a donde van a parar los productos sexuales a través del poro abdominal.

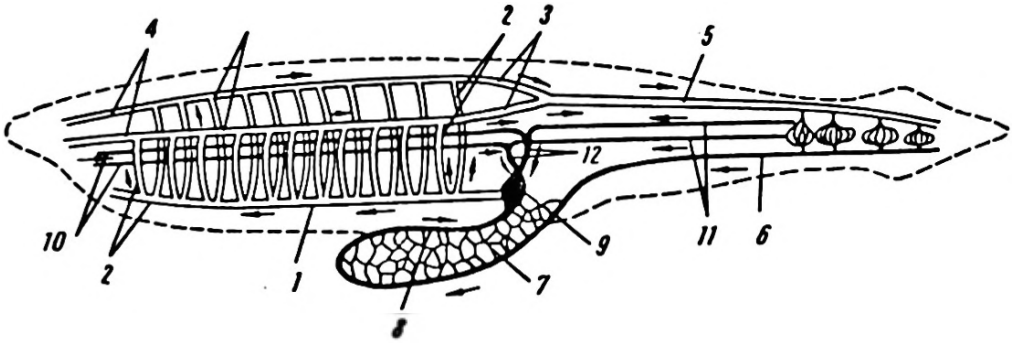


FIG. 260. Esquema de la circulación del *Branchiostoma lanceolatum*: 1, aorta ventral; 2, arterias branquiales; 3, raíces de la aorta; 4, arterias carótidas; 5, aorta dorsal; 6, vena infraintestinal; 7, sistema porta del ciego hepático; 8, vena hepática; 9, seno venoso; 10, venas cardinales posteriores; 12, canales de Cuvier. El animal está mostrado desde la izquierda y visto desde encima. Las flechas indican la dirección de la sangre en su movimiento.

El desarrollo embrionario del *Branchiostoma* es interesantísimo: ofrece un cuadro muy simplificado, esquemático, del desarrollo típico que se observa en los vertebrados.

Del origen de los cordados acranios se puede hablar basándose en las observaciones embriológicas y de Anatomía comparada, ya que la Paleontología no posee datos acerca de sus antecesores (sus diminutos y delicados cuerpos no se han conservado en estado fósil). Al parecer, los antecesores de los acranios fueron formas primitivas de simetría bilateral, que vivían libres. Poseían gran cantidad de aberturas branquiales, que comunicaban directamente con el exterior. Este grupo dio origen a dos ramas: una continuó nadando libremente, se siguió desarrollando y sirvió de base a los vertebrados; la otra se adaptó a la vida relativamente fija en el fondo del mar; sus representantes desarrollaron la cavidad atrial, que protegía las aberturas branquiales contra la obstrucción.

SUBTIPO IV. VERTEBRADOS O CRANIOTAS (VERTEBRATA O CRANIATA)

Los vertebrados forman el grupo de organización más elevada dentro del reino animal. Es conveniente señalar como un rasgo suyo importante y característico el hecho de que, a diferencia de los representantes de los subtipos de cordados estudiados anteriormente —los cuales utilizan los alimentos que llegan a su orificio bucal con la corriente de agua, es decir, que se nutren pasivamente—, los vertebrados buscan y se apoderan de la

comida en forma activa. Semejante modo de alimentación es posible gracias a la organización superior de estos animales.

El grado de organización de los vertebrados lo refleja, en primer lugar, la presencia de órganos sensoriales muy perfectos, que les ayudan a encontrar la presa, la existencia de órganos de locomoción desarrollados, de un aparato bucal móvil y de un cerebro complicado. En relación con el desarrollo del cerebro, de los órganos sensoriales y del aparato bucal, tiene lugar el desarrollo del cráneo. Los vertebrados poseen un esqueleto segmentado en forma de vértebras, que aseguran la rigidez de los apoyos y también la complejidad y variedad de movimientos. También es característico de ellos la presencia de un *corazón* diferenciado, de órganos excretores en forma de *riñones* y del *sistema porta-hepático.*

Algunos rasgos específicos de la estructura de los vertebrados exigen un estudio con cierto detalle.

Los tegumentos forman un órgano importante desde el punto de vista funcional: no sólo protegen el cuerpo de la influencia variable del medio exterior y perciben esta influencia, sino que participan en el intercambio gaseoso y en la expulsión de los productos de desasimilación. La piel consta de dos capas: la *epidermis,* estratificada, y la *dermis,* y da lugar a distintas modificaciones, las *escamas,* las *plumas* y los *pelos.*

El esqueleto axil está constituído por el notocordio, alrededor del cual y sustituyéndolo más o menos se encuentran las vértebras: solamente en un reducido número de vertebrados inferiores funciona el notocordio como órgano permanente. El esqueleto interno de los vertebrados lo forman tejidos conjuntivos fibrosos, cartílagos y huesos.

En relación con el desarrollo del cerebro y de los órganos de los sentidos, aparece, como una formación protectora, el *cráneo.* Independientemente de él se desarrolla filogenéticamente el esqueleto *visceral,* que al principio consitía en una serie de arcos, dispuestos entre las aberturas branquiales, y servía para sostener el aparato respiratorio. La cantidad de arcos branquiales varía en los diferentes vertebrados. En los vertebrados terrestres pierden su significado y sus restos se modifican extraordinariamente, transformándose en el esqueleto de la lengua y, en parte, en el de la laringe y del oído.

También es característico del esqueleto de los vertebrados la presencia del *esqueleto apendicular,* relacionado con la espina dorsal (fig. 261). Los miembros pueden ser *pares* e *impares* (éstos, las aletas dorsal y caudal); el esqueleto de los apéndices pares consta de la *cintura apendicular* y del *apéndice libre* o *miembro.* Se conocen dos tipos de esqueleto apendicular, el de las *aletas* de los peces y el de la extremidad *pentadáctila* de los vertebrados terrestres.

Los músculos de los vertebrados se dividen, lo mismo que los de los invertebrados, en músculos del cuerpo o *somáticos,* y de los órganos internos o *viscerales.* En los vertebrados inferiores, la musculatura somática tiene carácter segmentado; en los superiores, esta segmentación se ha perdido en gran parte.

La musculatura somática, formada por bandas transversales, se desarrolla a expensas de los somites del embrión; la visceral, que es en parte lisa y en parte constituída por bandas transversales, se desarrolla a expensas del mesodermo lateral.

El aparato digestivo de los vertebrados es complicado; poseen dispositivos para triturar la comida y están desarrolladas las glándulas secretoras de jugos digestivos, los cuales contienen diferentes fermentos. Las glándulas digestivas más importantes son el *hígado* y el *páncreas*. Convie-

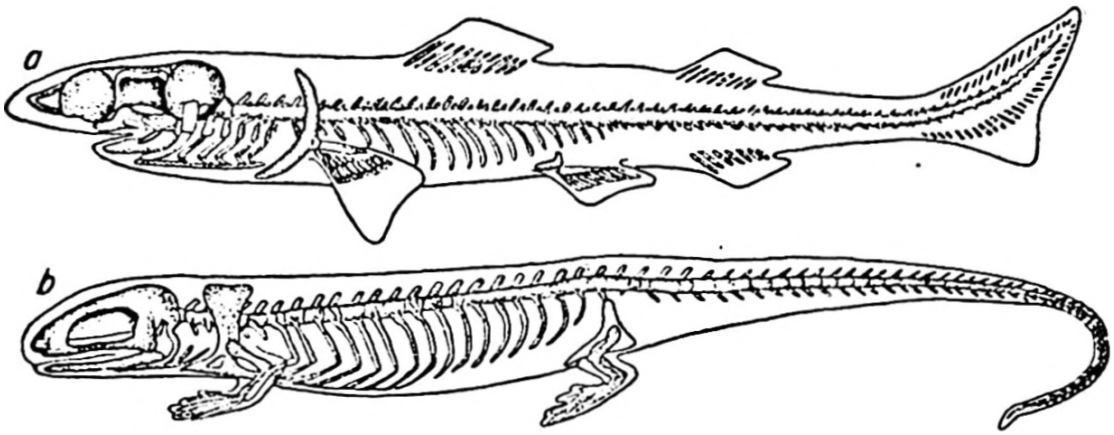


FIG. 261. Esquema de esqueletos de vertebrados: *a*, esqueleto de un pez; *b*, esqueleto de una animal terrestre.

ne señalar que sus funciones son más amplias que las digestivas; el hígado sirve también de órgano donde se neutralizan ciertos productos de desintegración, donde se forma la urea y se acumula el glucógeno. El páncreas actúa también como órgano de secreción interna; los trastornos de su funcionamiento normal producen una grave enfermedad, la diabetes.

Las glándulas de secreción interna no tienen canales excretores. Su secreción llega, a través de los vasos capilares, a la corriente sanguínea y de este modo se distribuye por todo el cuerpo. Las glándulas endocrinas tienen excepcional importancia para el normal metabolismo. Aparte del páncreas, figuran entre las glándulas endocrinas el *tiroides*, el *timo*, las *cápsulas suprarrenales*, la *hipófisis*, etc.

El sistema nervioso central de los vertebrados se diferencia en su parte anterior en un *cerebro*. En las fases tempranas de desarrollo embrionario, el cerebro presenta la forma de tres dilataciones de la parte anterior del tubo neural, dispuestas una tras otra. Son las llamadas *vesículas primordiales* (fig. 262). Las vesículas anterior y posterior se subdividen, apareciendo así las cinco partes fundamentales del cerebro de los vertebrados; el cerebro *anterior*, que se divide en dos *hemisferios* laterales, el *intermedio*, el *medio*, el *cerebelo* y el *bulbo raquídeo*. Al diferenciarse las partes del cerebro, se transforma el neurocele. Sus dilataciones dentro de los hemisferios cerebrales son los dos *ventrículos laterales* (en los vertebrados inferiores no están separados); la del diencéfalo, *tercer ventrículo;* la cavidad del mesencéfalo, *acueducto de Silvio* y la del mielencéfalo, *cuarto ventrículo*. Del encéfalo parten los *nervios craneales*; 10 pares en los vertebrados inferiores y 12 en los superiores.

A continuación del bulbo raquídeo se halla la *médula espinal*, cuyo neurocele se denomina *tubo medular* o epéndimo. De la médula parten

metaméricamente los *nervios raquídeos*, que comienzan por las *raíces posteriores* (*sensoriales*) y *anteriores* (*motoras*).

Entre los vertebrados adquiere también un gran desarrollo el sistema nervioso *simpático*, constituído en lo fundamental por ganglios nerviosos situados en las proximidades de la columna vertebral y unidos por filamentos longitudinales y plexos (cervical, lumbar y solar).

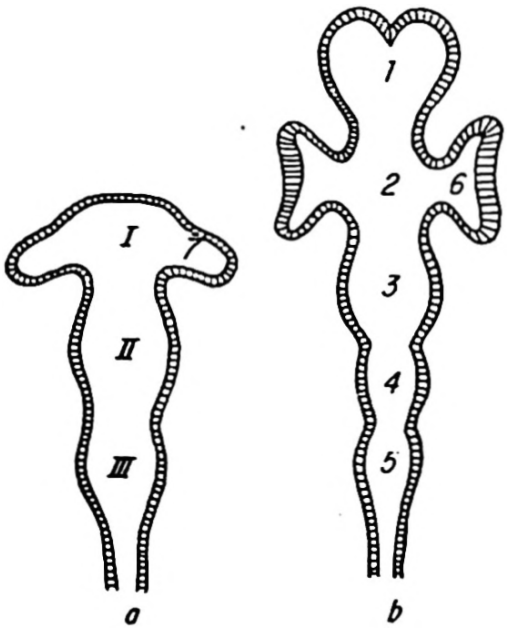


FIG. 262. Desarrollo de las secciones o partes del encéfalo (esquema): *a*, fase de tres vesículas (con los tálamos ópticos); *b*, fase de cinco vesículas (con los cálices ópticos); 1, telencéfalo; 2, diencéfalo; 3, mesencéfalo; 4, cerebelo; 5, bulbo raquídeo; 6, tálamo óptico; 7, lóbulo óptico.

Los órganos de los sentidos se caracterizan por su gran diferenciación; hay órganos del *oído*, del *olfato*, de la *vista*, del *gusto* y del *tacto*.

En los vertebrados acuáticos sirven de órganos respiratorios las *branquias*. Su configuración típica es la de pliegues laminares muy finos formados por la mucosa, que están dispuestos en filas a los lados de las aberturas branquiales. En los vertebrados terrestres son los *pulmones* los órganos respiratorios. Su estructura más simple corresponde a un par de vesículas que se comunican por su parte anterior con la faringe y tienen delgadas paredes alveolares.

El aparato circulatorio de los vertebrados se caracteriza por la presencia de un corazón; los vasos sanguíneos constituyen dos sistemas: el *arterial*, por el que circula la sangre que proviene del corazón, y el *venoso*, que vuelve a conducirla a él. La sangre se encarga de repartir las materias nutritivas y los gases necesarios para la actividad vital del organismo, así como de llevarse los productos del metabolismo.

Durante el proceso de embriogénesis, el corazón es un tubo recto, que después crece y se encorva hasta adquirir la forma de una S. La mitad posterior del rudimento cardiaco, de paredes finas, se desplaza hacia la parte dorsal, avanza y da lugar a la *aurícula*. La parte anterior continúa en la región ventral y origina el *ventrículo*, cuya pared muscular se hace muy gruesa. La porción de tubo situada detrás de la aurícula forma el *seno venoso*; en los vertebrados inferiores, delante del ventrículo se desarrolla un tubo musculoso, el *cono arterial*.

Delante del corazón se forma un tronco arterial, la *aorta ventral*, de la cual parten por los tabiques branquiales varios pares de ramas, los *arcos aórticos*. Estos arcos se extienden por la región del cuello y van a converger, en su parte posterior, en la *aorta dorsal*, de donde parten hacia la cabeza las *arterias carótidas*. Vale la pena recordar el aparato circulatorio del *Branchiostoma lanceolatum*, con sus numerosas arterias branquiales, que corresponden al número de tabiques branquiales (fig. 260). El número de arcos arteriales de los vertebrados no es muy grande y corresponde al de arcos viscerales.

Los ciclóstomos tienen de 5 a 15 pares de arcos; los peces, de 6 ó 7;

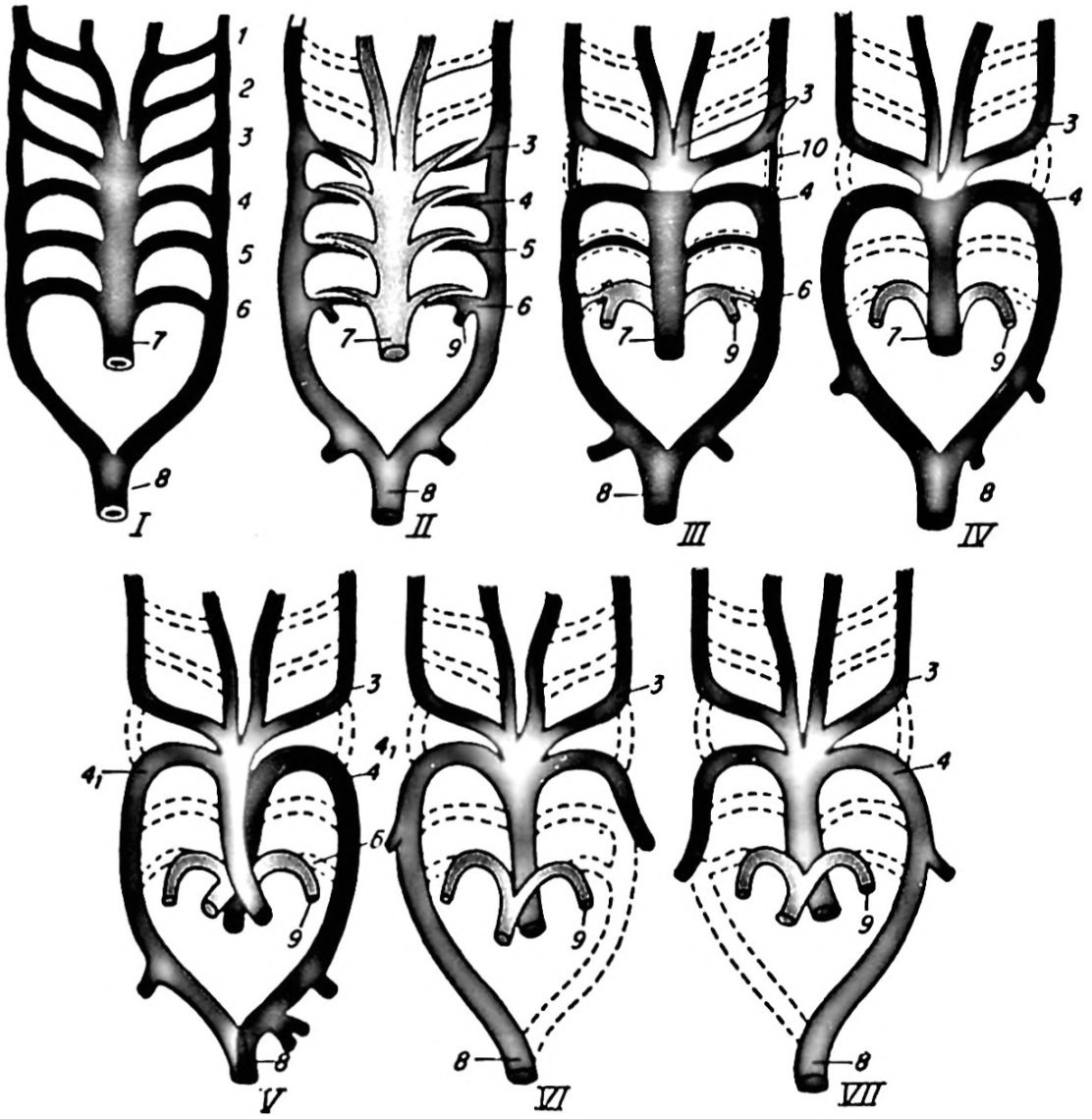


FIG. 263. Desarrollo de los arcos arteriales en los vertebrados (esquema). I, Posición inicial en el embrión: 1-6, arterias branquiales; 7, aorta ventral; 8, aorta dorsal. II-VII, Sistema arterial en los distintos grupos de vertebrados. II, Peces dipnoos: 3-6, arterias aferentes y eferentes; 9, arteria pulmonar. III, Batracios urodelos: 3, arterias carótidas; 4, arcos aórticos; 6, agujero de Botall; 10, agujero carotídeo. IV, Batracios anuros. V, Reptiles: 4_1, arco derecho de la aorta; 4, arco izquierdo de la aorta. VI, Aves. VII, Mamíferos.

los vertebrados terrestres ofrecen en estado embrionario 6 pares de arcos arteriales (fig. 263).

Los dos primeros pares de arcos en los representantes de las diferentes clases de vertebrados se reducen en una u otra medida. Los siguientes arcos arteriales constituyen en los peces los *arcos* o *arterias branquiales aferentes* y *eferentes*. En los vertebrados terrestres experimentan una serie de transformaciones: el tercer par de arcos pierde su contacto con la aorta dorsal y se transforma en las *arterias carótidas*. El enlace embrionario de este arco con la aorta dorsal lleva el nombre de *conducto carotídeo*, que algunos reptiles conservan durante toda su vida. El cuarto par se desarrolla notablemente y da origen a los verdaderos *arcos* (o *raíces*) de la aorta dorsal. En los anfibios y los reptiles estos arcos o cayados se desarrollan de forma simétrica. En las aves se atrofia el cayado izquierdo, conservándose en estado adulto únicamente el derecho. En los mamíferos persiste sólo el cayado izquierdo. El quinto par se reduce (tan sólo lo conservan los anfibios urodelos, en forma de pequeño conducto). El sexto arco se transforma en las *arterias pulmonares*, que pierden el contacto con el arco aórtico. El enlace embrionario de las arterias pulmonares con el arco aórtico se llama *orificio de Botal*, el cual lo conservan en estado adulto los anfibios urodelos y algunos reptiles; a veces, pueden conservarlo en estado adulto los vertebrados superiores, incluso el hombre, pero solamente como consecuencia de trastornos embrionarios.

Además del sistema vascular sanguíneo, los vertebrados poseen un sistema *linfático* abierto, constituído por vasos y ganglios. Las ramificaciones de los vasos linfáticos se comunican con los espacios intercelulares. El sistema linfático es un complemento del sistema sanguíneo y sirve para asegurar el metabolismo interno.

Los órganos excretores de los vertebrados están representados por un par de *riñones* y dos canales deferentes, los *uréteres*. Los riñones contienen numerosos tubitos excretores. La estructura y el funcionamiento de los riñones ofrece en los diferentes vertebrados rasgos específicos. En los vertebrados superiores se observa a lo largo del proceso de embriogénesis la presencia de tres tipos de riñones, que se suceden uno a otro. Primero aparece el *pronefros* o *riñón cefálico*, después el *mesonefros* o *riñón primordial* y por último el *metanefros*.

Los vertebrados más primitivos, los ciclóstomos, tienen restos de un órgano excretor semejante al pronefros; en los vertebrados inferiores (peces y batracios) funciona de modo permanente el mesonefros; en los superiores (reptiles, aves y mamíferos), el metanefros.

Por tanto, la sucesión embrionaria en las formas superiores de tres tipos de órganos excretores corresponde a la sucesión filogenética de estos órganos en una serie de vertebrados.

Los canalículos del pronefros se abren a la cavidad celomática por medio de nefrostomas, y se asemejan extraordinariamente a los metanefridios de los anélidos. Si se tiene en cuenta la relación genética de los metanefridios con los protonefridios (a través de los solenocitos), y también la semejanza entre las vacuolas que aparecen en las células terminales de los protonefridios y las vacuolas pulsátiles de los protozoarios, es posible imaginarse el camino seguido en su evolución por el sistema excretor en todo el reino animal, desde los protozoarios hasta los mamíferos. En las proximidades de los nefrostomas del pronefros se observa una dilata-

ción de las paredes del celoma con un entrecruzamiento de vasos sanguíneos; es el *glomérulo capilar*, que constituye un aparato filtrante. Los extremos opuestos de los canalículos van a parar a un conducto deferente común, el *canal protonefridial*.

El riñón primitivo se desarrolla detrás del pronefros. Sus canalículos pierden casi por completo la relación con el celoma; los nefrostomas se reducen con frecuencia, los productos de excreción llegan a los canalículos directamente de la sangre; los glomérulos (*glomérulos de Malpigio*) forman ovillos más complicados y se establecen en cámaras especiales, protuberancias, en las paredes de los canalículos (*cápsulas de Shumlianski*) (fig. 264). En este momento se reduce el pronefros, y el canal protonefridial da lugar a dos canales, el de *Wolff*, al que van a parar los canalículos del mesonefros, y el *de Müller*, que subsiste en las hembras y se reduce en los machos.

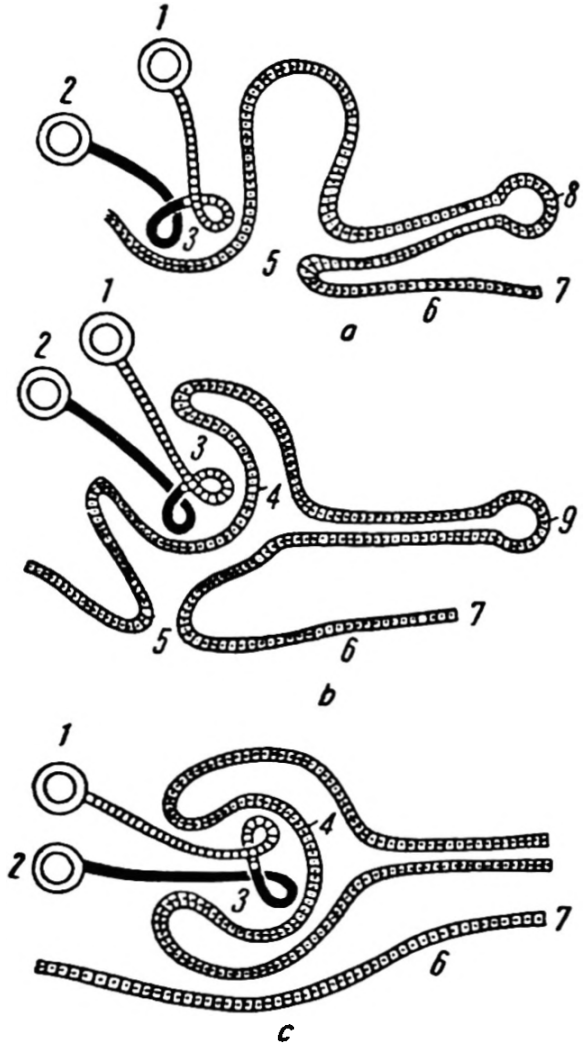


Fig. 264. Esquema de la sección transversal de un pronefros (*a*), un mesonefros (*b*) y un metanefros (*c*): 1, arteria; 2, vena; 3, glomérulo; 4, cápsula de Shumlianski; 5, nefrostoma; 6, celoma; 7, celotelio; 8, conducto protonefridial; 9, conducto mesonefridial.

En los vertebrados superiores, por detrás del mesonefros se desarrolla el metanefros o riñón secundario. En este caso, los canalículos carecen de nefrostomas que comuniquen con el celoma, y comienzan con la cápsula, que se distingue del pronefros principalmente en que el canal está más diferenciado, siendo su pared la parte excretora del riñón (por ella se eliminan el ácido úrico, la urea y otros productos orgánicos). Conviene señalar que no existe una diferencia acusada entre el riñón primordial, el primario y el secundario; la reducción del nefrostoma se realiza paulatinamente, y lo mismo sucede con la complicación del canalículo.

Los canalículos del metanefros van a parar a un conducto especial, el uréter, que sale de la sección posterior del canal de Wolff.

En su evolución, el riñón se ha ido aproximando al sistema vascular sanguíneo, aumentando además la superficie de excreción (de 4 a 10 canalículos en el pronefros, 100 en el mesonefros y hasta un millón en el metanefros), lo que guarda relación con la intensidad, cada vez mayor, del metabolismo en los animales.

Después de haberse formado el riñón secundario, se reduce el mesonefros y los canales (de Wolff y de Müller) se encargan de hacer llegar al

exterior los productos sexuales (el canal de Wolff en los machos y el de Müller en las hembras).

Por regla general, los vertebrados son unisexuales. Los conductos genitales desarrollados en el proceso evolutivo están ligados al sistema excretor (fig. 265). Así, en las hembras de todos los vertebrados (excepto los

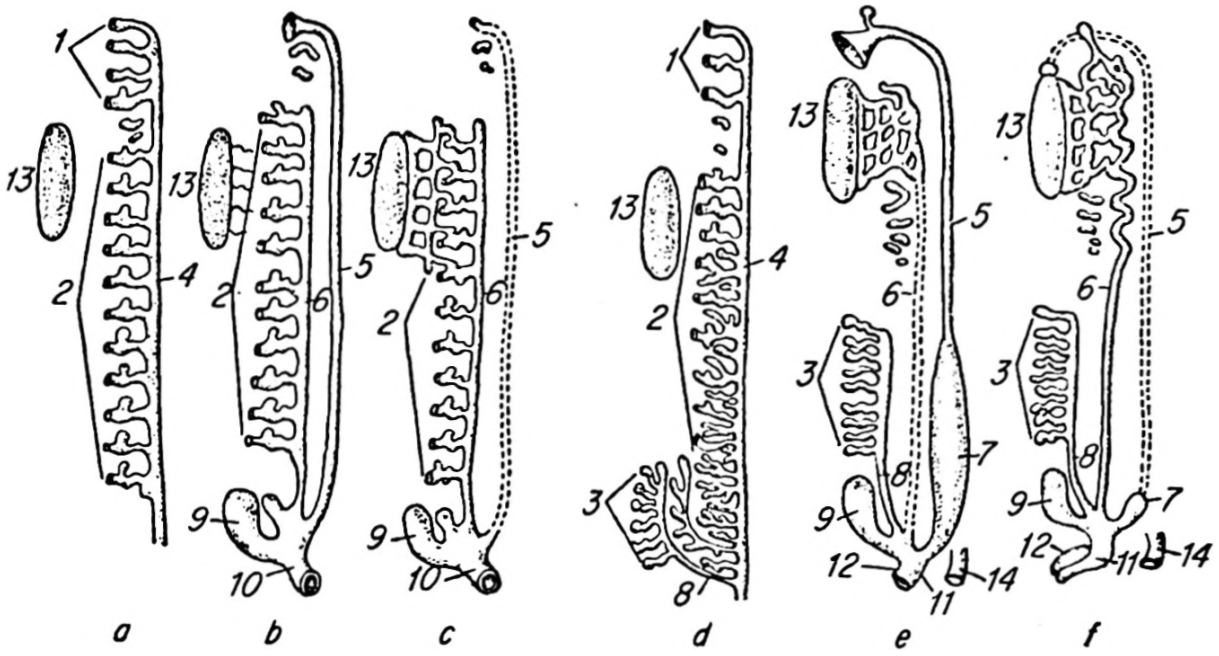


FIG. 265. Estructura esquemática del aparato urogenital de los vertebrados: *a*, estado embrionario neutro en un vertebrado inferior; *b*, hembra de un vertebrado inferior; *c*, macho de un vertebrado inferior; *d*, estado embrionario neutro de un vertebrado superior; *e*, hembra de un vertebrado superior; *f*, macho de un vertebrado superior. 1, pronefros; 2, mesonefros; 3, metanefros; 4, canal protonefridial; 5, canal de Müller, que les sirve de oviducto a las hembras; 6, canal de Wolff, que les sirve de espermiducto a los machos; 7, útero; 8, uréter; 9, vejiga de la orina; 10, cloaca; 11, seno urogenital; 12, pene (macho) o clitoris (hembra); 13, glándula genital; 14, intestino recto.

grupos inferiores), la función propia del *oviducto* la realiza el canal de Müller (residuo del canal protonefridial), y en los machos, la función que le corresponde al *espermiducto* la desempeña el canal de Wolff (en los vertebrados inferiores, en que funciona el mesonefros, este canal sirve al mismo tiempo de uréter). La fecundación puede ser exterior o interior; el desarrollo del embrión tiene lugar tanto fuera como dentro del organismo materno.

El subtipo de los vertebrados se divide en seis clases:

1) *Ciclóstomos* (Cyclostomata).
2) *Peces* (Pisces).
3) *Batracios o anfibios* (Anphibia).
4) *Reptiles* (Reptilia).
5) *Aves* (Aves).
6) *Mamíferos* (Mammalia).

Considerando las condiciones de existencia y los rasgos específicos del desarrollo embrionario, los vertebrados se dividen en dos grandes grupos: los anamniotas (Anamnia), del que forman parte las tres primeras clases, y los amniotas (Amniota), que incluye a los reptiles, las aves y los mamíferos. En su existencia, los *anamniotas* están vinculados al agua en mayor o menor grado, es decir, son primitivamente acuáticos. Los *amniotas* son animales verdaderamente terrestres y toda su organización está adaptada a la vida en tierra. Las diferencias fundamentales que existen entre ambos grupos se descubren en el período embrionario. En los anamniotas, los embriones se desarrollan libremente en el agua; en los amniotas, alrededor del embrión se forman *envolturas embrionarias* especiales (el amnios, la membrana serosa y el alantoides). El embrión se halla rodeado directamente por la envoltura amniótica, en cuya cavidad se acumula un líquido, Por tanto, en un caso el líquido amniótico y en otro el agua, protegen el embrión contra las lesiones. Es decir, que las envolturas de los vertebrados amniotas crean las mismas condiciones de medio acuático que las condiciones en que se desarrollan sus lejanos antepasados (anamniotas).

VERTEBRADOS ANAMNIOTAS (ANAMNIA)

Clase 1ª Ciclóstomos (Cyclostomata).

Las *lampreas* y los *mixinoideos*, que integran la clase de los ciclóstomos (del griego *Kyklos*, círculo, y *stoma*, boca), son los vertebrados más primitivos; su régimen de vida es parasitario o semiparasitario (fig. 266). A diferencia de todos los vertebrados superiores, carecen de mandíbulas verdaderas (desarrolladas a partir de los arcos branquiales) y tienen la boca en el interior de un *embulo bucal* característico, enmarcado por un cartílago anular.

Por la forma del cuerpo se asemejan a los peces, pero su organización es mucho más inferior (fig. 267). El cuerpo, que no posee apéndices pares, tiene una aleta *dorsal* y otra *caudal*.

El notocordio se conserva durante toda la vida del animal. Lo rodea una envoltura de tejido conjuntivo; en ella se desarrollan los cartílagos, que corresponden a los rudimentos de las vértebras de los Craniata superiores. El cráneo cartilaginoso es muy primitivo.

Los *sacos branquiales* (su número es superior al de los peces contemporáneos más primitivos y oscila entre 5 y 15 pares) se comunican directamente con la cavidad anterior del tubo intestinal, la faringe: en su interior tienen una cubierta endodérmica; por su parte externa hay unos conductos que se comunican con el exterior. El aparato circulatorio es del tipo de *Branchiostoma*, aunque algo más desarrollado; tienen *corazón*. Algunos mixinoideos conservan aun en estado adulto el riñón *cefálico*, aunque en la mayoría de ellos funciona el *mesonefros*.

El sistema nervioso consta de un encéfalo primitivo con *lóbulos olfatorios* muy desarrollados; tiene cinco vesículas, igual que el resto de los vertebrados, pero todas están dispuestas en *un plano*. La cubierta del cerebro es muy fina, y toda ella epitelial. Entre los órganos sensoriales, muy primitivos, llama la atención el del *olfato*, que es *impar* y se comunica con el exterior por el orificio nasal, situado en el dorso de la cabeza, lo

que recuerda el lóbulo olfatorio de la lanceta de mar. Este órgano no se comunica con la faringe.

Los ciclóstomos son los vertebrados actuales más primitivos. En estado fósil se han encontrado formas de seres pisciformes, llamados *lorigados*

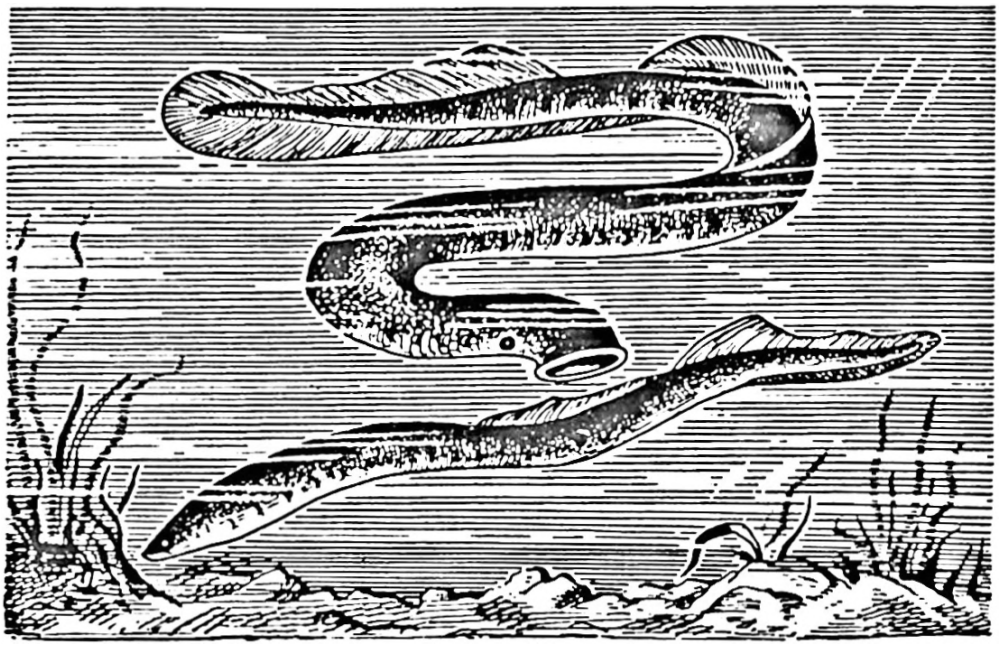


FIG. 266. Lamprea de mar (arriba) y lamprea de río (abajo).

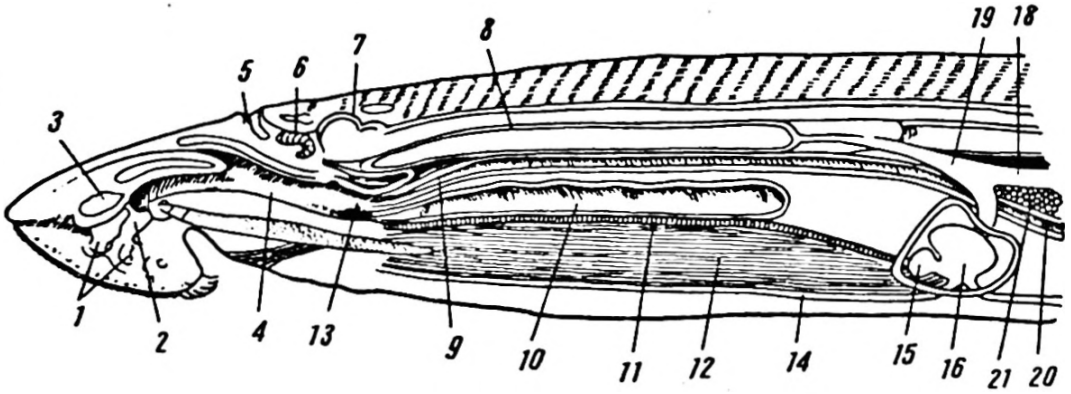


FIG. 267. Sección media longitudinal de una lamprea de mar (hembra), en la que se puede apreciar la mayoría de los órganos: 1, dentículos dérmicos en el interior del embudo bucal; 2, boca; 3, sección de la parte dorsal del cartílago anular que rodea a la boca; 4, cavidad bucal; 5, orificio nasal; 6, cápsula olfatoria sobre el lóbulo olfatorio; 7, cerebro; 8, notocordio; 9, esófago; 10, tubo respiratorio; 11, aorta ventral; 12, músculo retractor de la lengua; 13, velo; 14, vena yugular inferior; 15, ventrículo; 16, aurícula; 17, vena hepática; 18, vena cardinal posterior; 19, vena cardinal anterior; 20, intestino; 21, ovario.

o *placodermos* (tienen el cuerpo recubierto por una resistente coraza ósea) que se asemejaban bastante a los ciclóstomos: poseían un orificio nasal impar y sacos branquiales endodérmicos, carecían de verdaderos apéndices pares y de mandíbulas, etc. Los acorazados o lorigados y los ciclóstomos proceden probablemente de antecesores comunes, los Craniata primitivos,

que la ciencia desconoce aún. Los descendientes de estos Craniata primitivos darían origen a los lorigados, que habitaban el fondo de los mares, a los ciclóstomos, que se convirtieron en parásitos y semiparásitos, y también a los *gnatóstomos* (peces y todos los vertebrados superiores).

Clase 2ª Peces (Pisces).

Los peces constituyen un grado más elevado que los ciclóstomos en la evolución de los vertebrados: sus movimientos para desplazarse son más enérgicos, se apoderan activamente de los alimentos y disponen de procedimientos más variados para adaptarse al medio exterior.

La alimentación activa se relaciona con la formación de *mandíbulas*, instrumentos mediante los que se apoderan de la comida, la sostienen y después la trituran. Basándose en este importantísimo carácter de los peces y de los demás vertebrados superiores, se les agrupa a todos ellos en la superclase de los *gnatóstomos* (Gnathostomata).

La clase de los peces es una de las más numerosas de los vertebrados; la integran animales marinos y dulceacuícolas que tienen *variable* la temperatura del cuerpo y respiran durante toda su vida por medio de *branquias*. Su cuerpo adquiere formas muy diversas, predominando la configuración *fusiforme*, que está adaptada para nadar. Como órganos de locomoción disponen de las aletas, que poseen en número par (las *pectorales* y las *abdominales*) o impar (la *dorsal*, la *caudal* y la *anal*). Las aletas están sostenidas por un esqueleto propio. Muchos órganos alcanzan un gran desarrollo y, en primer lugar, el sistema nervioso y los órganos sensoriales.

Los peces se dividen en *condrictios* y *teleóstomos*. Los primeros representan un grado inferior de evolución. El esqueleto cartilaginoso es más primitivo y filogenéticamente precede al óseo. Pertenecen a los condrictios, los *plagióstomos* y los *holocéfalos* y también una serie de formas fósiles, de organización sencilla. La mayoría de las especies son teleóstomos. Están extendidos en los lugares más diversos, y la diferencia de condiciones de vida hace que su variedad sea muy grande (fig. 268).

El grupo de los teleóstomos incluye los *condrósteos*, los *teleosteos* (cuya gran mayoría la constituyen los *acantopterigios*), los *dipnoos* y los *crosopterigios*. El último grupo ofrece un gran interés, ya que reúne en su mayor parte a organismos desaparecidos, que sirvieron de punto de partida para el desarrollo de los vertebrados terrestres.

La piel de los peces consta de un *epitelio estratificado* y de la *dermis*, y contiene gran cantidad de glándulas *unicelulares*, que segregan una mucosidad. Además, la piel está dotada de *escamas* de estructura y origen diversos. Hay tres tipos diferentes de escamas: las *placoideas* (las más antiguas, que poseen los tiburones actuales), las *ganoideas* y las *cicloideas;* todas ellas están relacionadas entre sí genéticamente. Las escamas placoideas, que son de dentina cubierta de esmalte, ofrecen extraordinario interés desde el punto de vista de la Anatomía comparada, ya que sirven de origen a otras clases de escamas y también a los dientes de los vertebrados superiores, los cuales se hallan formados asimismo por dentina, están cubiertos de esmalte y tienen una cavidad, rellena de pulpa dentaria (fig. 269).

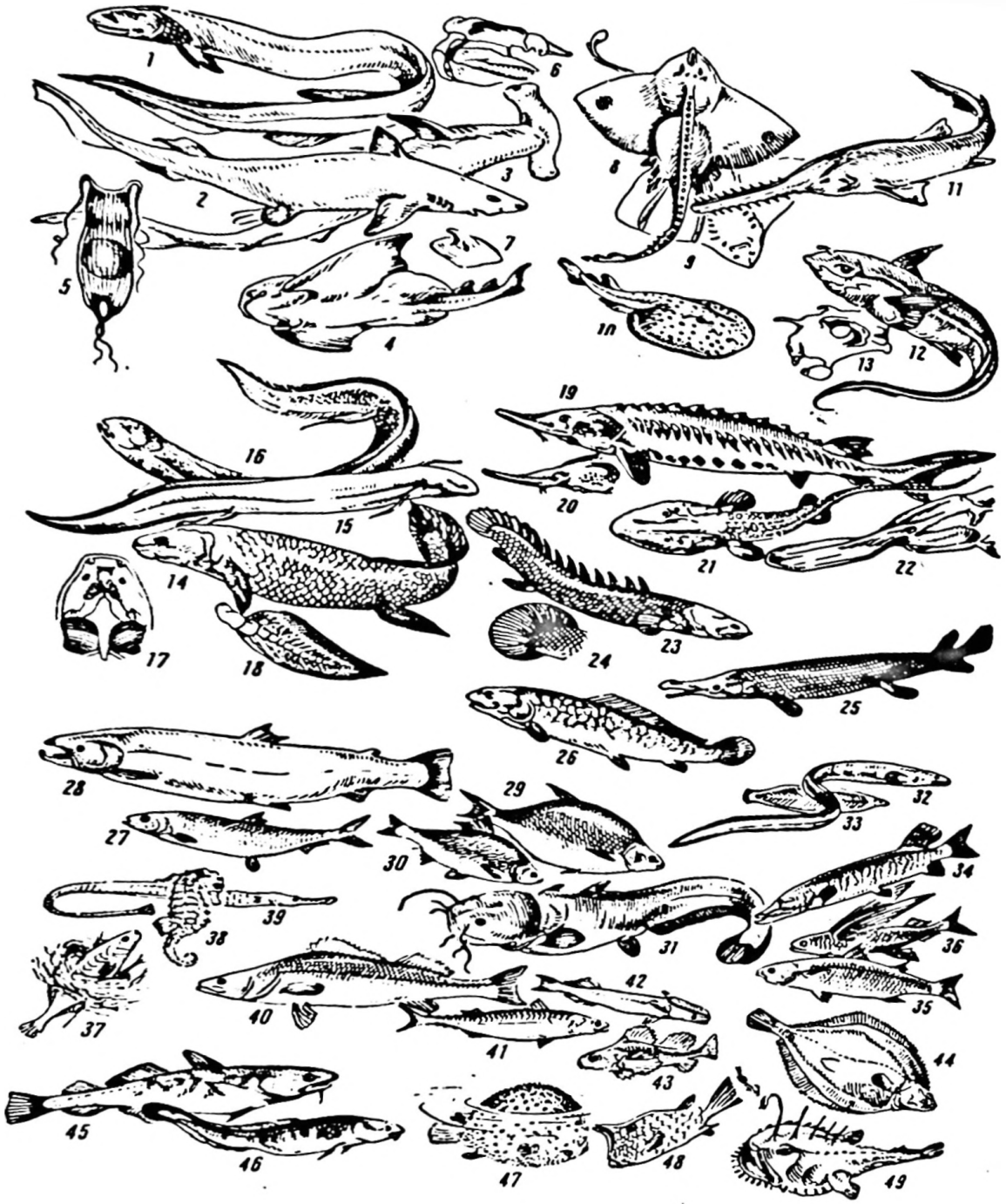


FIG. 268. Peces: 1, selacio primitivo (*Chlamidoselachus*); 2, tiburón común; 3, pez martillo; 4, pez ángel; 5, huevo de selacio; 6, cráneo de un tiburón; 7, escama placoidea; 8 y 9, raya común (cara dorsal, 8; cara ventral, 9); 10, torpedo; 11, pez sierra; 12, gato de mar; 13, cráneo de gato de mar; 14, barramunda; 15, Protopterus; 16, Lepidosiren; 17, caja craneana del Ceratodus (cara inferior); 18, aleta pectoral del Ceratodus; 19, esturión; 20, *Acipenser estellatus;* 21, *Scaphirhyachus;* 22, pez espátula; 23, *Polypterus senegalus:* 24, aleta pectoral de *Polypterus:* 25, pez caimán; 26, Amia; 27, arenque; 28, salmón; 29, bremo; 30, gobio; 31, siluro de Europa; 32, congrio; 33, larva de anguila; 34, sollo; 35, sargo; 36, pez volador; 37, *Gasterosteus aculeatus* (macho en el nido); 38, caballito de mar; 39, aguja de mar; 40, lucioperca; 41, caballa; 42, rémora; 43, palometa; 44, mero; 45, bacalao; 46, lota; 47, pez globo; 48, pez cofre; 49, peje-sapo.

Los músculos de los peces están divididos en segmentos. En la cabeza se hallan los que mueven las mandíbulas, los ojos, etc. Músculos especiales rigen el movimiento de las aletas.

El esqueleto axil de los peces lo forma un notocordio que se halla más o menos sustituido por las vértebras (fig. 270). Estas son *anficélicas* o *bicóncavas;* están excavadas por delante y por detrás y atravesadas por un delgado orificio a través del cual pasa el notocordio (este último se conserva en los espacios intervertebrales). Cada vértebra consta del *cuerpo* y *arcos superiores* o *neurales,* que constituyen el conducto *medular;* cada dos arcos superiores terminan en una *apófisis* superior. Los arcos inferiores originan en la parte *caudal* el *canal hemal.* En las apófisis transversas de las vértebras del tronco se articulan las *costillas,* cuyos extremos distales son libres.

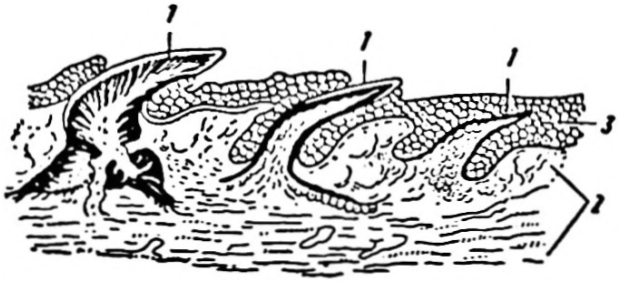


FIG. 269. Corte longitudinal de las escamas placoideas y de la piel: 1, escama placoidea; 2, dermis; 3, epidermis.

El esqueleto apendicular se divide en cinturas (escapular y pélvica) que forman parte de la estructura del tronco del animal, y *esqueleto de los apéndices* o *miembros.* El esqueleto de las aletas está constituído, en lo fundamental, por una serie de radios cartilaginosos u óseos.

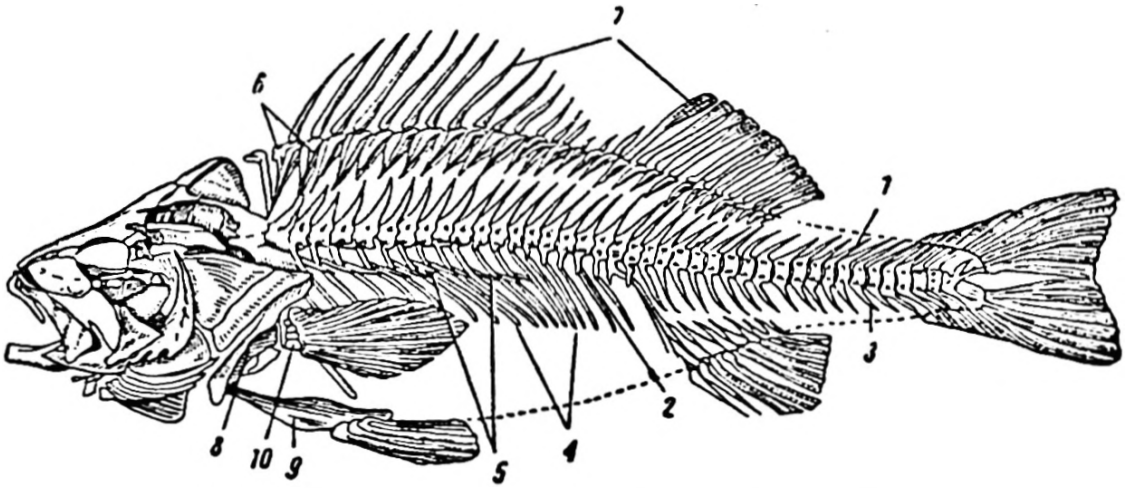


FIG. 270. Esqueleto de una perca: 1, apófisis vertebral superior; 2, arco vertebral inferior; 3, apófisis vertebral inferior; 4, costillas; 5, huesecillos musculares ("costillas superiores"); 6, soportes radiales; 7, radios de las aletas; 8, cintura escapular; 9, cintura pelviana; 10, miembros pterigios.

La parte dorsal del cráneo (esqueleto cefálico o cerebral) protege el cerebro y los órganos del olfato, la vista y el oído. Su parte ventral (esqueleto visceral) rodea la cavidad oral. Forman parte de ellos los *opérculos,* dispuestos a ambos lados de la cabeza; el esqueleto de las branquias lo constituyen los *arcos branquiales;* los espacios que dejan las aberturas branquiales comunican con la faringe.

La cavidad general, del cuerpo, el celoma, que es, como en todos los vertebrados, de origen secundario, contiene los órganos que constituyen el aparato digestivo (fig. 271), el cual consta del *tubo digestivo* (el *estómago* y el *intestino*, que termina en un orificio *anal*). Junto al estómago se halla el *hígado;* el *páncreas* está poco desarrollado. La complicación del

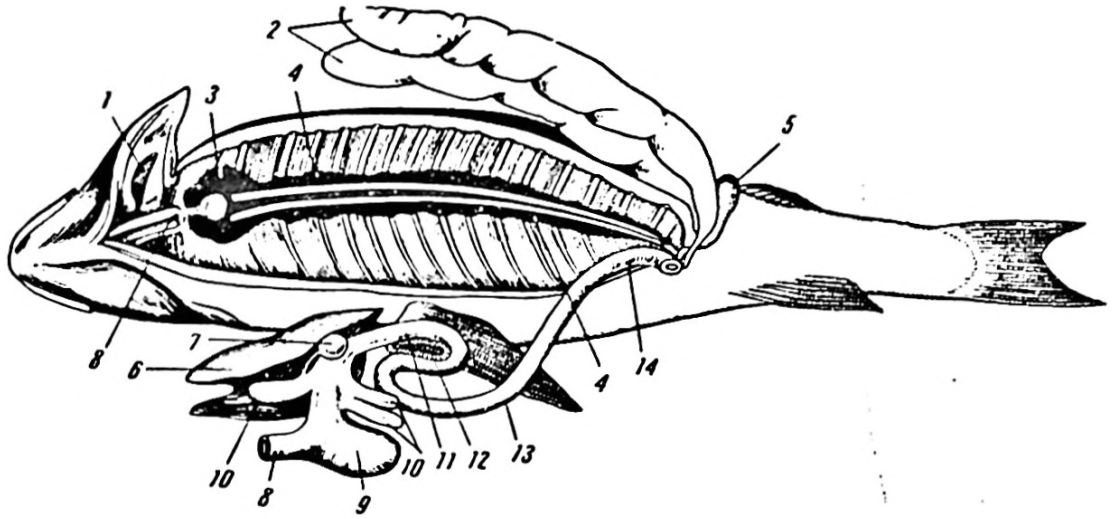


FIG. 271. Anatomía de la cavidad abdominal de una perca macho después de haberle extraído el intestino: 1, branquia; 2, testículos; 3, parte anterior del riñón; 5, vejiga de la orina; 6, hígado; 7, vesícula biliar; 8, esófago; 9, estómago; 10, apéndices pilóricos; 11, duodeno; 12, bazo; 13, intestino delgado; 14, recto.

aparato digestivo de los peces, en comparación con los ciclóstomos, se refleja en un mayor número de subdivisiones y en una mayor longitud, por la formación de asas intestinales.

Los teleóstomos poseen una *vejiga natatoria* característica. Es un saco de pared delgada, lleno de gas y que sirve de aparato hidrostático; cuando se dilata disminuye el peso específico del pez; cuando se contrae, aumenta.

Los órganos de la respiración son las branquias, constituídas por *aletas branquiales* sostenidas por los *arcos branquiales*. Los peces dipnoos y los crosopterigios tienen además *pulmones*: en algunos acantopterigios la vejiga natatoria hace de órgano respiratorio complementario. Los pulmones derivan de la pared ventral del último saco branquial. La diferenciación del saco branquial y su transformación en pulmón contribuyó en alto grado a que los antecesores de los animales terrestres abandonasen el agua.

El corazón de los peces, homólogo a la aorta ventral pulsátil del *Branchiostoma*, conduce únicamente, lo mismo que esta última, sangre venosa. Consta de dos partes principales, la *aurícula* y el *ventrículo*. Posee además un *seno venoso*, que se conserva en todos los vertebrados inferiores, y un *cono arterial*, que en los peces superiores está ya reducido; en estos últimos se origina, entre el ventrículo y el tronco arterial, una dilatación elástica, el *bulbo aórtico* (fig. 272), que no posee capacidad pulsatoria independiente.

La aorta ventral lleva la sangre venosa del cono arterial a las branquias, de donde la sangre, que ya es arterial, va a la *aorta dorsal*, que se

ramifica por todos los órganos (fig. 273). La sangre venosa procedente de la región cefálica se reúne en las *venas yugulares*. La vena *caudal* (que es única) emite en los riñones numerosos capilares, dando lugar al *sistema porta-renal*, del que por las *venas renales* va a parar la sangre a las *venas cardinales posteriores*. Estas se funden con las anteriores y las laterales, que llevan la sangre de los apéndices y de la piel, dando origen a los *canales de Cuvier*. Los canales de Cuvier desembocan en el seno venoso, a donde llega también la *vena hepática*, que conduce la sangre de las vísceras (estómago, intestino y bazo) después de pasar por el sistema porta-hepático. Por lo tanto, los peces poseen, lo mismo que las lancetas de mar y los ciclóstomos, un aparato circulatorio relativamente simple (pero perfecto para las condiciones del medio acuático) con *circulación sencilla y completa*.

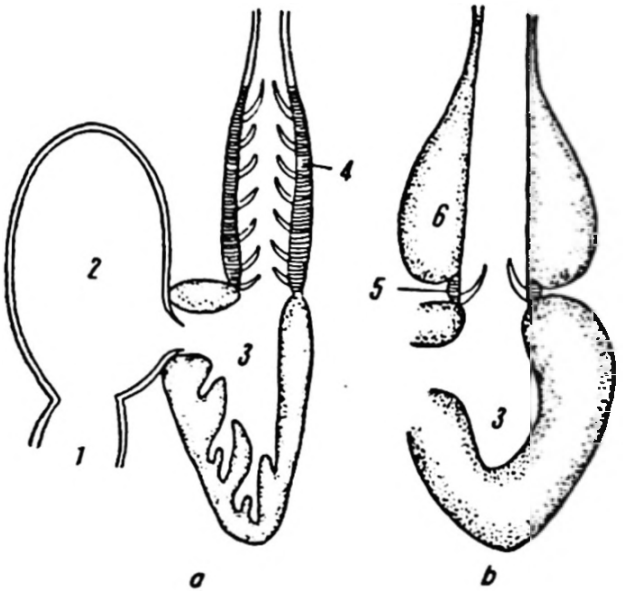


FIG. 272. Estructura del corazón de un tiburón (*a*) y de un acantopterigio (*b*): 1, seno venoso; 2, aurícula; 3, ventrículo; 4, cono arterial; 5, rudimento del cono arterial; 6, bulbo aórtico.

Los dipnoos presentan rasgos específicos en su aparato circulatorio. Constituyen un arcaico y reducido grupo de peces dulceacuícolas, que combinan rasgos primitivos con su aptitud para habitar lagos pobres en oxígeno; junto a la respiración branquial pueden realizar la pulmonar, a la que recurren cuando les falta agua. Es aquí precisamente donde comienza a transformarse el corazón de los vertebrados terrestres, transformación que da origen al corazón de cuatro cavidades de las aves y los mamíferos, en el que la sangre arterial y venosa están totalmente separadas. El corazón de los dipnoos está constituído de forma semejante al de los otros peces (fig. 274), pero en la aurícula y, en parte, en el ventrículo aparece un *tabique*, que divide parcialmente el corazón en dos secciones, una derecha y otra izquierda. De la arteria branquial eferente más próxima al corazón sale una *arteria pulmonar*, y del pulmón, una *vena pulmonar*, que desemboca en la aurícula izquierda. Si las branquias funcionan normalmente, a las arterias llega sangre ya oxigenada. Si, a consecuencia de la escasez de oxígeno en el agua, no funcionan las branquias, la sangre venosa cruza los vasos pulmonares, se oxigena en el pulmón y vuelve al corazón ya como sangre arterial. Por lo tanto, en la aurícula derecha entra sangre venosa del sistema de la circulación mayor, y en la izquierda, algo de sangre venosa y también arterial, procedente de las venas pulmonares. Las válvulas del cono arterial aseguran la separación de la corriente sanguínea y la salida de la sangre arterial a las carótidas; en general, en el corazón se *mezcla* la sangre. Pero en la respiración branquial esta sangre mezclada se oxida en las branquias y se distribuye por el cuerpo como sangre arterial; en la respiración pulmonar, a los órganos llega sangre mezclada con un coeficiente muy pequeño de

oxígeno. Con semejante respiración la actividad de los procesos vitales disminuye extraordinariamente, pero, sin embargo, "saca de apuros", como suele decirse: el pez no muere cuando los lagos se secan y ensucian, durante el período de "sueño estival". En el sistema venoso de los dipnoos se observa la sustitución de las venas cardinales pares por una *vena cava posterior impar;* también aparece una *vena abdominal impar,* formada por la fusión parcial de las venas laterales.

El cerebro de los distintos peces varía bastante, pero, en general, presenta una estructura más complicada que el de los ciclóstomos. Esto se refleja claramente en los elasmobranquios (fig. 275), que poseen en la parte superior del telencéfalo un tejido nervioso que cubre la cavidad del ventrículo. Además, las vesículas del cerebro no están situadas en un plano, sino que el eje encefálico origina en la parte correspondiente a la vesícula media una marcada *curvatura,* lo que es característico de los vertebrados de organización superior. Las partes más desarrolladas son los lóbulos olfatorios del telencéfalo, y el cerebelo. Un rasgo primitivo es la indivisión de las vesículas del cerebro en dos ventrículos laterales. Del encéfalo de los peces parten 10 u 11 pares de nervios cefálicos.

Los órganos de los sentidos están bien desarrollados. Además de las terminaciones *sensitivas* en la piel (de la mayoría de los peces) hay todo un grupo de aparatos sensoriales, que constituyen la llamada *línea lateral.* Los sacos *olfatorios,* que son ciegos, se presentan en número *par.*

Los *ojos* tienen una córnea plana y un cristalino esférico y carecen de párpados. El órgano *auditivo* está representado únicamente por el *oído interno,* el laberinto membranoso.

Los órganos excretores son riñones *primordiales* (mesonefros). Los uréteres, homólogos a los canales de Wolff, comunican con la cloaca, o bien se abren al exterior, independientemente de ella.

Los órganos reproductores del macho son los *testículos,* cuyos conductos deferentes son autónomos (en los acantopterigios los canales de Wolff cumplen únicamente la función de uréteres) o pasan a través de los riñones y van a parar a los canales de Wolff (en los condrictios). En los acantopterigios, los *ovarios* de la hembra se abren a través de un canal específico en el seno urogenital. En los condrictios, los produc-

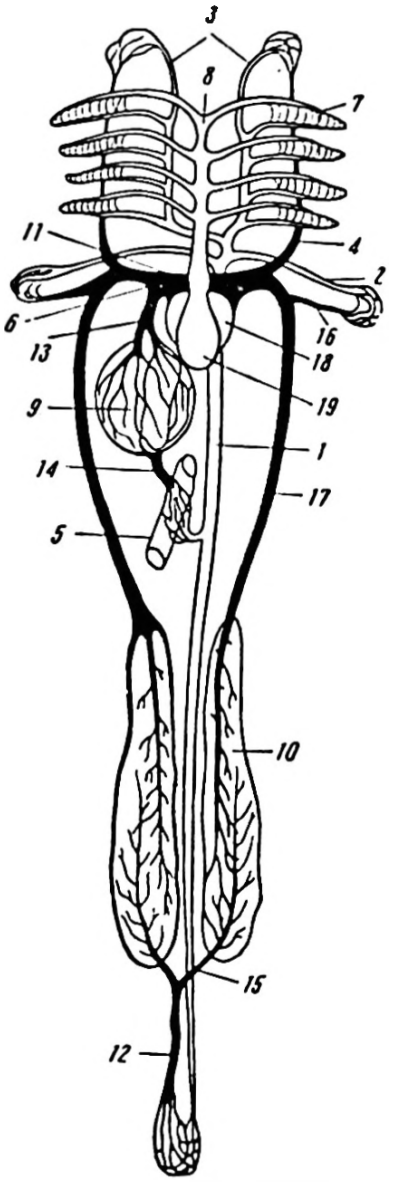


FIG. 273. Esquema del sistema circulatorio de un acantopterigio: 1, aorta dorsal; 2, arteria subclavia; 3, arterias carótidas; 4, vena cardinal anterior; 5, intestino; 6, canal de Cuvier; 7, arterias branquiales; 8, arteria abdominal; 9, hígado; 10, riñón; 11, seno venoso; 12, vena caudal; 13, venas hepáticas; 14, vena porta-hepática; 15, vena porta-renal (en la parte inferior); 16, vena subclavia; 17, vena cardinal posterior; 18, aurícula; 19, ventrículo.

tos genitales de las hembras salen a través de los *oviductos*, que están representados por los canales de Müller.

Como ya hemos señalado anteriormente, ofrece gran interés el grupo de los peces crosopterigios, que son afines a los dipnoos. Merece especial atención la estructura de sus aletas pares, que estos peces utilizan no sólo para nadar, sino también como órgano de apoyo al *arrastrarse* por el fondo de los ríos o de los lagos. El esqueleto de la aleta en algunos de estos peces (fig. 276) se asemeja mucho a la extremidad pentadáctila de los vertebrados terrestres. La base de la aleta está sostenida por un elemento en el que no es difícil ver un *homólogo del húmero*. Se hallan a continuación dos elementos, que corresponden al *cúbito* y al *radio*. Más hacia la periferia hay una serie de *radios* (los pterigios), que corresponden a la *mano*. Actualmente puede admitirse sin duda alguna que la extremidad pentadáctila se desarrolló mediante la simplificación (disminución del número de radios) de una extremidad más desarticulada, correspondiente a la aleta de los crosopterigios, que viene a ser el prototipo de las extremidades de los vertebrados terrestres, y que se advierte por vez primera en los fósiles de anfibios primitivos, los *estegocéfalos*.

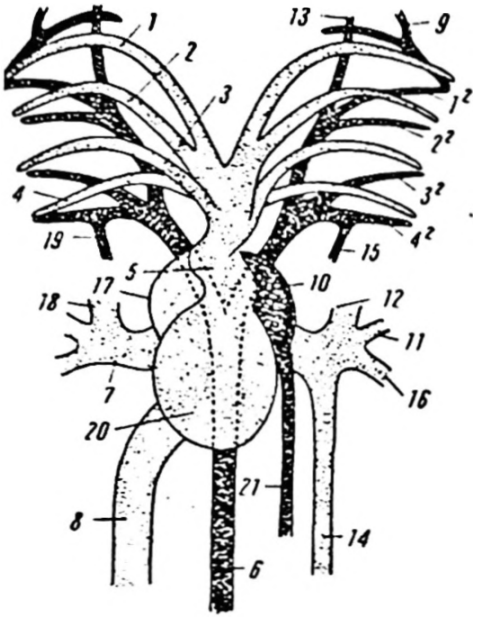


FIG. 274. Representación esquemática del corazón y de los vasos sanguíneos principales del neoceratodus: 1-4, vasos aferentes de las braquias; 1²-4², arterias branquiales eferentes; 5, como arterial; 6, aorta dorsal; 7, canal de Cuvier; 8, vena cava inferior; 9, arteria carótida anterior izquierda; 10, parte izquierda de la aurícula; 11, vena humeral izquierda; 12, vena yugular izquierda; 13, vena carótida interior izquierda; 14, vena cardinal posterior izquierda; 15, arteria pulmonar izquierda; 16, vena subclavia izquierda; 17, aurícula derecha; 18, vena yugular derecha; 19, arteria pulmonar derecha; 20, ventrículo; 21, vena pulmonar.

La importancia de los peces para el hombre es muy grande, ya que son numerosas las especies que se utilizan en la alimentación. A este respecto conviene señalar que la rápida putrefacción del pescado es causa de frecuentes intoxicaciones. También es importante el hecho de que muchos peces son huéspedes intermedios de algunos gusanos parásitos del hombre (el trematodo de los gatos y el *Diphyllobotrium latum*).

Señalábamos antes que los peces y los ciclóstomos tienen antecesores comunes. De los craniotas primitivos descienden los antecesores de los peces, cuya evolución se realizó a través del desarrollo de las branquias externas, de las mandíbulas capacitadas para apoderarse de la presa, y de la formación de aletas pares. Se sabe cuál fue el pez más primitivo, el *Cladoselache* (fig. 277), semejante por su aspecto a los tiburones. Los selacios primitivos alcanzaron gran variedad, pero después se extinguieron y sólo ha llegado hasta nosotros un grupo, de organización relativamente elevada. Los tiburones son los peces actuales más primitivos. La supervivencia de peces condrictios se debe al desarrollo en ellos de una serie de

valiosos rasgos de adaptación (huevos ricos en deutoplasma, inseminación interna, viviparismo, cerebro relativamente desarrollado, etc.). De los primeros condrictios se separaron los primitivos proteleóstomos, que dieron origen a los teleóstomos. Los acantopterigios propiamente dichos surgieron

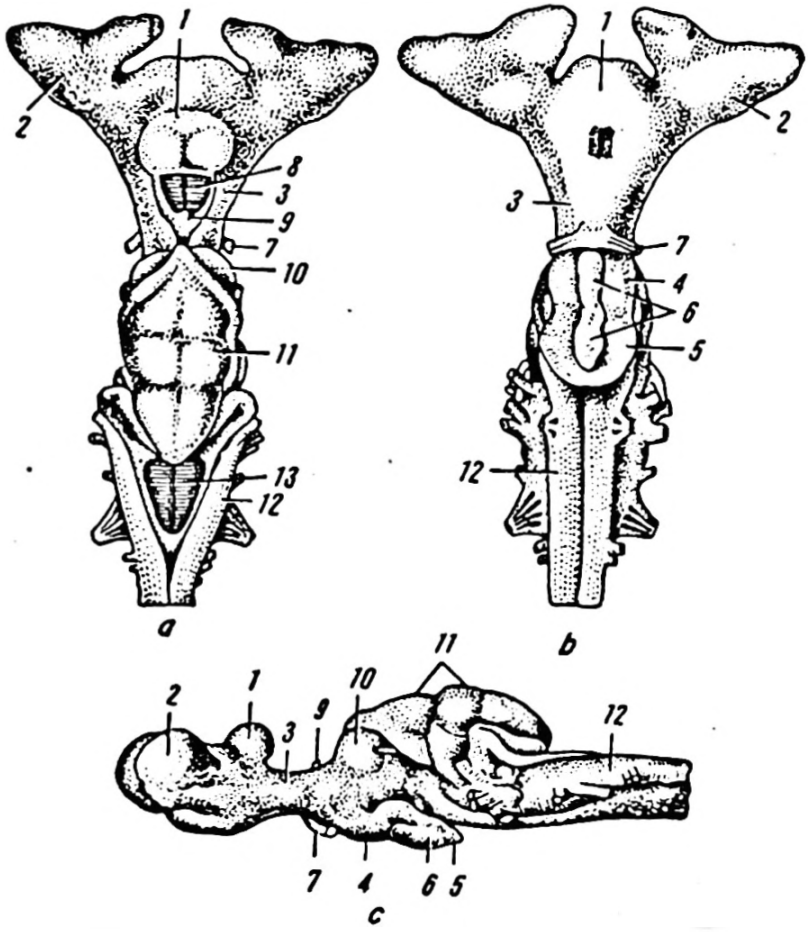


FIG. 275. Cerebro de un tiburón: *a*, cara dorsal; *b*, cara ventral; *c*, visto de perfil: 1, telencéfalo; 2, lóbulos olfatorios; 3, dielencéfalo; 4, lóbulos inferiores; 5, saco vascular; 6, hipófisis; 7, nervio óptico; 8, tercer ventrículo; 9, epífisis; 10, mesencéfalo; 11, cerebelo; 12, mielencéfalo; 13, cuarto ventrículo.

más tarde, su evolución fue rápida y marchó por diversos caminos. En la actualidad son el grupo predominante de peces. Los protelcóstomos originaron también los crosopterigios y los dipnoos. Estos últimos son interesantes por ser los más próximos a los vertebrados terrestres primitivos.

Clase 3ª Batracios o anfibios (Amphibia).

Lo más característico de los batracios es su régimen de vida *acuático-terrestre*. Justifican plenamente su nombre de "anfibios"; en primer lugar, además de conservar muchos rasgos de sus antecesores acuáticos, han adquirido otros que son propios de los vetebrados terrestres; en segundo, experimentan en su vida una metamorfosis, durante la cual las larvas,

que son acuáticas, se transforman en individuos adultos, que viven principalmente fuera del agua.

En la evolución, estos son los primeros, aún imperfectos, habitantes terrestres. Se puede decir que los batracios ocupan una posición interme-

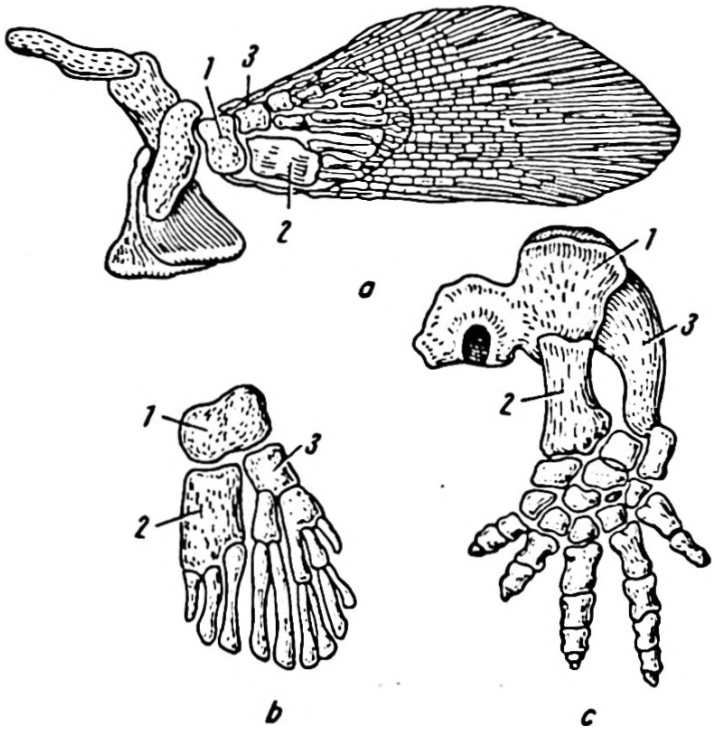


FIG. 276. Miembro anterior de un pez crosopterigio del devónico (*Sauripterus*) y de un estegocéfalo pérmico: *a*, cintura escapular y aleta (*Sauripterus*); *b*, esqueleto de la aleta pectoral; *c*, esqueleto del miembro anterior del estegocéfalo; 1, elemento homólogo del húmero; 2, elemento homólogo del radio; 3, elemento homólogo del cúbito.

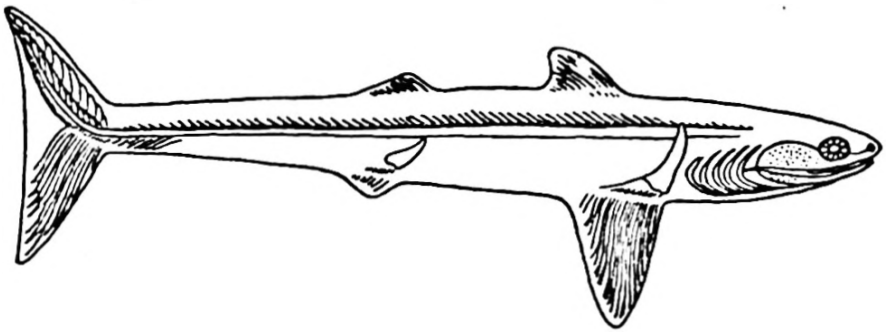


FIG. 277. Cladoselache, pez del devónico superior, semejante a un tiburón.

dia entre los cordados acuáticos y los verdaderamente terrestres. A causa de ello, la organización específica que poseen limita sus posibilidades de extensión: no pueden permanecer largo tiempo en el agua y, al mismo tiempo, no pueden, cuando se encuentran en tierra, alejarse mucho del agua. Su aptitud para vivir en el medio acuático y en tierra los convierte en formas imperfectas, cuya vida se ve reducida únicamente a la zona *limítrofe* entre ambos medios.

Los batracios adultos se caracterizan por su respiración *pulmonar,* por sus extremidades pentadáctilas y por otros muchos rasgos. Los anfibios constituyen, junto con los vertebrados superiores, el grupo de los *cuadrúpedos* o *tetrápodos,* que poseen extremidades de estructura similar a la mano. El lugar donde viven los anfibios señala su procedencia; salvo raras excepciones están relacionados con el agua; los bosques tropicales con su clima caluroso y húmedo son el lugar principal donde transcurre su vida. Durante la época de reproducción permanecen en el agua.

Los batracios actuales (fig. 278) comprenden tres órdenes: los *ápodos* (Apoda), y a los cuales pertenecen los *lumbricoides* o *cecilias,* adaptados a la vida hipogea y cavadora; los *urodelos* (Urodela), que tienen como representantes típicos a los *tritones,* las *salamandras* y los *amblistomas* (la larva del *Ambystoma mexicanus,* conocida bajo el nombre de *axolote,* se cría en grandes cantidades en los laboratorios), y los *anuros* (Anura), grupo que constituye el grupo de organización más elevada y que posee mayor cantidad de representantes; son muy comunes, sobre todo, las *ranas* (Ranidae) y los *sapos* (Bufonidae).

Una serie de rasgos específicos de la piel de los anfibios muestra su parentesco con los peces. Los tegumentos son húmedos y blandos, lo que está relacionado con su aparato respiratorio, que no es lo suficientemente perfecto, por lo cual la piel sirve de órgano complementario de respiración. La piel es extraordinariamente rica en *glándulas secretoras.* El líquido que segregan esas glándulas actúa como narcótico sobre el organismo de otros animales. El veneno de la salamandra, sapo y tritón, inyectado en grandes dosis en la sangre, mata incluso a los mamíferos y las aves. El veneno actúa sobre el corazón y el sistema nervioso central.

En los sapos, que viven más en la tierra que las ranas, la piel se hace algo *córnea,* y les sirve de medio protector; esto ocasiona una dificultad para respirar a través de la piel, debido a lo cual sus pulmones están más desarrollados que en las ranas.

En el esqueleto axil de los batracios se observan los mismos rasgos de semejanza con los peces (fig. 279). La columna vertebral está bien desarrollada y se osifica totalmente; la estructura cartilaginosa es poco frecuente en los individuos adultos. La forma del cuerpo de las vértebras varía. En los anfibios primitivos fósiles, los *estegocéfalos,* es, lo mismo que en los peces, anficélica; en los anfibios actuales, al haberse desarrollado *cartílagos intervertebrales* especiales, que están muy unidos con la superficie anterior o posterior del cuerpo de las vértebras, la forma resulta *procélica,* es decir, cóncava por la parte anterior, u *opistocélica,* cóncava por la parte posterior.

Las costillas de los batracios actuales están muy reducidas, llegando incluso a faltar, como les sucede a los anuros. Las de los estegocéfalos eran de gran longitud. Los anfibios tienen la columna vertebral dividida en regiones: la *cervical,* que comprende una sola vértebra con *dos* cóndilos occipitales: la *torácica,* la *sacra,* que aparece por vez primera en los batracios y consta de una sola vértebra, y la *caudal,* que es la última. El cráneo es cartilaginoso casi en su totalidad y está integrado por un número relativamente pequeño de huesos. El rasgo más característico del esqueleto de los anfibios lo constituye la presencia de extremidades *pentadáctilas* y, a consecuencia de ello, el gran desarrollo que adquieren las *cinturas escapular y pélvica,* de estructura complicada. Las extremidades de los

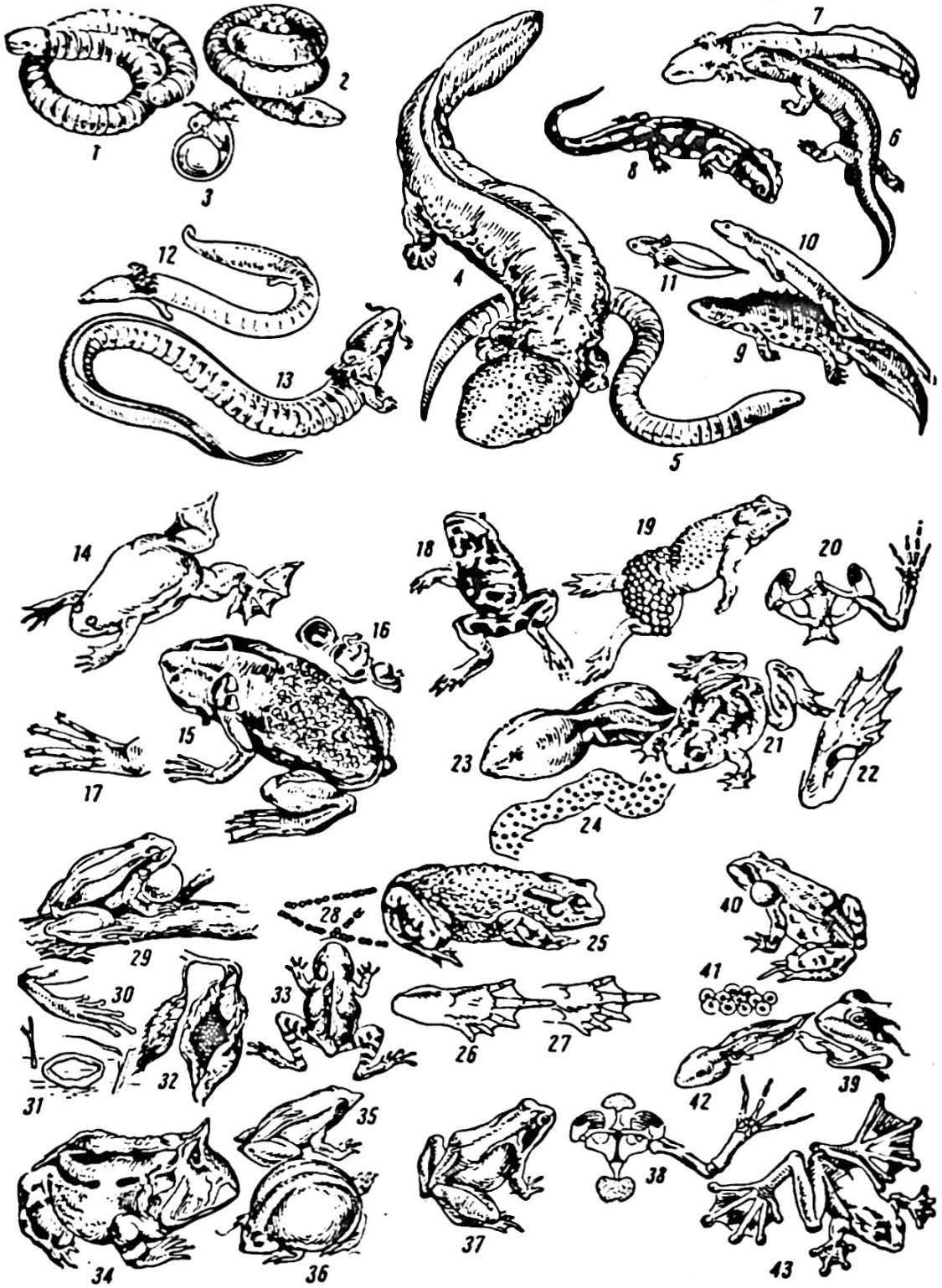


FIG. 278. Batracios: 1, *Cecilia lumbricoides;* 2, *Ichthyophis glutinosa;* 3, larva de un *Ichthyophis glutinosa;* 4, salamandra gigante; 5, *Amphium;* 6, *Amblystoma;* 7, axolote; 8, salamandra maculosa; 9, 10, tritón (*Molge cristata*) macho (9), hembra (10); 11, larva de tritón; 12, *Proteus;* 13, *Siren;* 14, *Xenopus laevis:* 15, cururú; 16, bolsas dorsales del cururú; 17, mano del cururú; 18, *Bombinator;* 19, sapo partero; 20, cintura pelviana del *Bombinator;* 21, *Pelobates;* 22, pata posterior del pelobates; 23, renacuajo de *Pelobates;* 24, huevo de *Pelobates;* 25, sapo común; 26, pata posterior del sapo común; 27, pata posterior del sapo *Bufo viridis;* 28, huevas de sapo; 29, *Hyla* o rana de San Antón; 30, pata posterior de la *Hyla;* 31, nido de *Hyla;* 32, nido de *Phyllomedusa;* 33, *Gastrotheca;* 34, *Ceratophrys cornuta;* 35, *Rhinoderma darwini;* 36, *Brevicceps mosanbicus;* 37, *Rana nigromaculata;* 38, cintura escapular de la rana; 39, *Rana terrestris;* 40, *Rana viridis;* 41, huevas de la *Rana viridis;* 42, renacuajo; 43, rana voladora.

vertebrados terrestres se han desarrollado a partir de la aleta de los peces teleósteos. Algunos de estos peces tenían en la aleta un número mucho menor de radios, y a partir de ellos precisamente fue de donde surgió, después de un proceso evolutivo, la extremidad terrestre. La primera fase conocida en la evolución de este tipo de extremidades se produjo en los estegocéfalos; aunque groseras y pesadas aún, poseen ya una estructura típica (fig. 276).

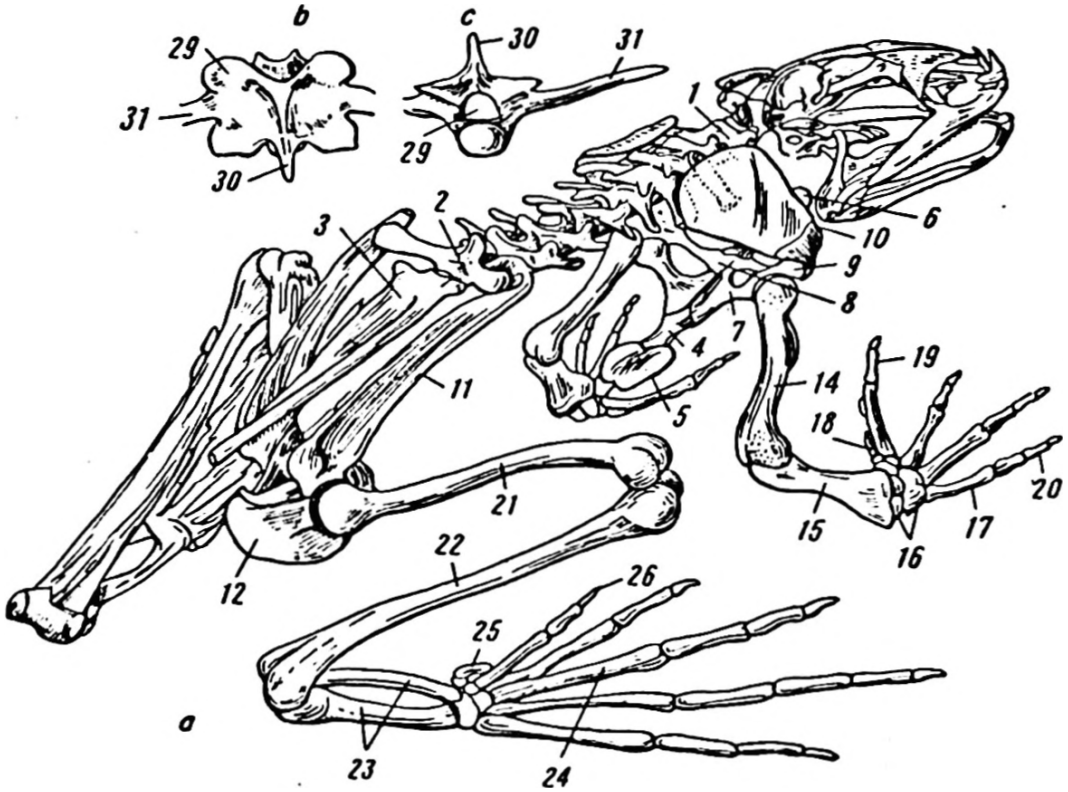


FIG. 279. Esqueleto de la rana: *a*, vista de conjunto; *b*, cara dorsal de una vértebra; *c*, vértebra vista de frente; 1, atlas; 2, vértebra sacra; 3, urostilo; 4, esternón; 5, apéndice xifoide; 6, episternón; 7, coracoides; 8, procoracoides; 9, escápula; 10, cartílago supraescapular; 11, ileón; 12, isquión; 13, cartílago púbis; 14, húmero; 15, radiculina (radio y cúbito); 16, carpo; 17, metacarpo; 18, dedo rudimentario; 19, II dedo; 20, V dedo; 21, fémur; 22, tibio-fíbula (tibia y peroné); 23, astrágalo y calcáneo; 24, metatarso; 25, rudimento del dedo complementario; 26, I dedo; 27, cuerpo de la vértebra; 28, conducto vertebral; 29, faceta articular; 30, neurespina; 31, apófisis transversa.

El aparato digestivo de los anfibios (fig. 280) descubre su semejanza con el de los peces en la existencia de dientes, no sólo en la mandíbulas, sino también en los vómeres. En la parte inferior de la cavidad bucal se halla la *lengua*, cuya forma varía mucho en unos u otros anfibios. Las ranas tienen la lengua sujeta por su parte anterior al fondo de la boca y libre por el extremo posterior, lo que les permite proyectarla rápidamente fuera sirviéndoles de original dispositivo para la captura de los insectos. En la cavidad faringobucal se abren las *glándulas salivales* (de las que carecían los peces). Su secreción sirve únicamente para humedecer la cavidad bucal, y no actúa químicamente sobre la comida. La *faringe* se continúa en el *esófago*, el cual desemboca en el *estómago*, y este último en el *intesti-*

no. El *duodeno* sigue a continuación del estómago; la parte restante el intestino forma asas; el intestino *recto* está perfectamente diferenciado y termina en la *cloaca*. En relación con el intestino se hallan el *páncreas* y el *hígado*. Cerca del recto se encuentra el *bazo*, pequeño y de forma redondeada. El aparato respiratorio de los batracios es variado; lo integran la

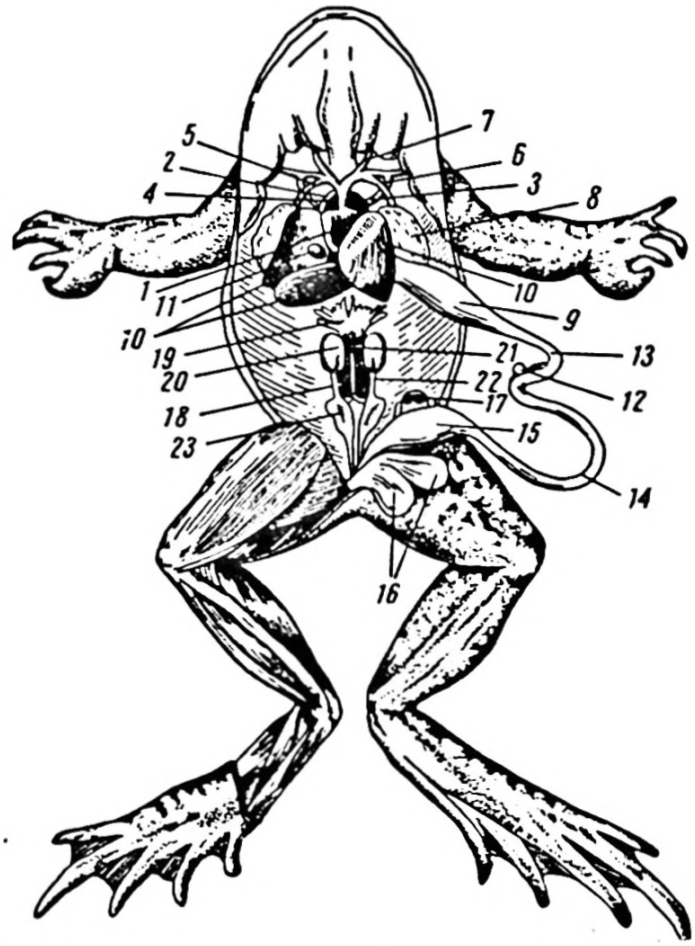


Fig. 280. Anatomía general de una rana macho (esquema): 1, ventrículo; 2, aurícula derecha; 3, aurícula izquierda; 4, tronco arterial; 5, arteria muscular-cutánea; 6, arco aórtico; 7, arteria carótida general; 8, pulmón; 9, estómago; 10, hígado; 11, vesícula biliar; 12, páncreas; 13, duodeno; 14, intestino delgado; 15, recto; 16, vejiga urinaria; 17, bazo; 18, riñón; 19, cuerpo amarillo; 20, testículo; 21, conductos deferentes; 22, uroespermiducto; 23, vesícula seminal.

piel, las *branquias* y los *pulmones*. La respiración branquial se conserva en las larvas y también en aquellos urodelos cuya vida transcurre en el agua. Los pulmones de los restantes anfibios tienen forma de sacos cilíndricos, con las paredes delgadas. Los pulmones aparecieron en los antecesores de los cuadrúpedos, en calidad de órgano respiratorio complementario, mucho antes de que saliesen del agua para vivir en tierra; los utilizaban cuando se secaban los ríos o charcas en que vivían, haciendo imposible la respiración branquial. Los pulmones de los anfibios no se

apartan mucho de su primitiva estructura sacciforme. Sin embargo, su superficie interna está compuesta por celdillas, ya que en la cavidad existe un sistema de tabiques. Es muy interesante señalar que cuando más terrestre es la especie de batracio, más desarrollados están dichos tabiques en los pulmones; los sapos presentan más celdillas que las ranas. Debido a la ausencia de cavidad torácica independiente, la respiración presenta en los batracios un carácter muy especial: el papel de bomba lo desempeña la cavidad faringobucal, cuyo fondo desciende y se eleva.

La circulación de la sangre se verifica mediante un corazón, que consta de *tres cavidades* (fig. 281), *dos aurículas* y *un ventrículo,* éste en contacto con un *cono arterial;* delante de la aurícula derecha se halla un *seno venoso.* El cono arterial que parte del ventrículo (dotado de una válvula espiral específica) se continúa por la aorta, de la que salen tres pares de arcos arteriales. El anterior lo constituyen las *arterias carótidas;* el siguiente, los *arcos aórticos,* donde comienza la *aorta dorsal;* el tercero corresponde a las *arterias pulmonares,* que antes de entrar en los pulmones se separan formando una gran *arteria cutánea.*

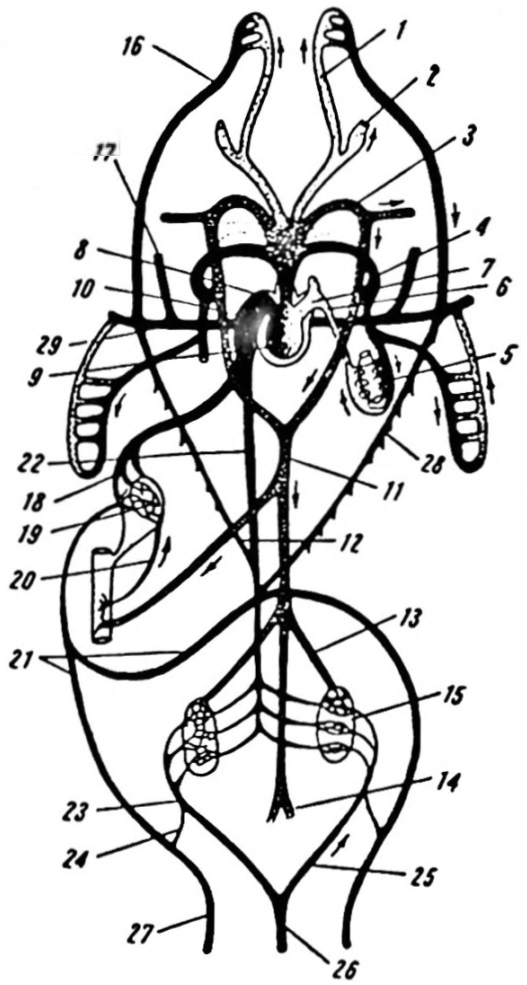


Fig. 281. Esquema de la circulación de la sangre en los anfibios urodelos, de respiración pulmonar: 1, arteria carótida externa; 2, arteria carótida interna; 3, arco aórtico; 4, arteria pulmonar-cutánea; 5, pulmón; 6, vena pulmonar; 7, aurícula azquierda; 8, aurícula derecha; 9, ventrículo; 10, seno venoso; 11, aorta dorsal; 12, tronco celiacomesentérico; 13, arteria renal; 14, arterias ilíacas; 15, riñones; 16, vena yugular interna; 17, vena yugular externa; 18, vena hepática; 19, hígado; 20, vena porta-hepática; 21, vena abdominal; 22, cava inferior; 23, vena ilíaca general; 24, vena ilíaca transversal; 25, isquiátrica; 26, vena sacra; 27, vena femoral; 28, venas cardinales posteriores, muy reducidas; 29, canal de Cuvier. Las partes punteadas corresponden a la mezcla de sangre venosa y arterial.

En el ventrículo se reúnen la sangre arterial y la venosa, que se mezclan en parte. La mezcla total la impide la complicada red de travesaños o tabiques musculares del ventrículo y su enérgica contracción (sístole). Al contraerse el corazón, la sangre venosa penetra en las arterias pulmonares; la mezclada en los arcos aórticos y la arterial se realiza en las arterias carótidas. Por lo tanto, todo el cuerpo recibe sangre *mezclada,* y únicamente llega a la cabeza sangre arterial pura. La lentitud con que circula la sangre y la mezcla de sangre arterial y venosa hace que el proceso de oxidación de los tejidos sea lento, y, a consecuencia de ello, la cantidad de calor que se produce es escasa; en los batracios, lo mismo que en los peces, la temperatura del cuerpo *no es constante* (son poiquilotermos). Se equilibra con la del medio ambiente y se altera de acuerdo con sus variaciones, pudiendo sobrepasarla en muy poco.

El sistema venoso de los anfibios es semejante al de los peces dipnoos. En los anuros, las venas cardinales posteriores son sustituídas por la *vena cava inferior*, desaparecen los canales de Cuvier, aparecen las *venas cavas*

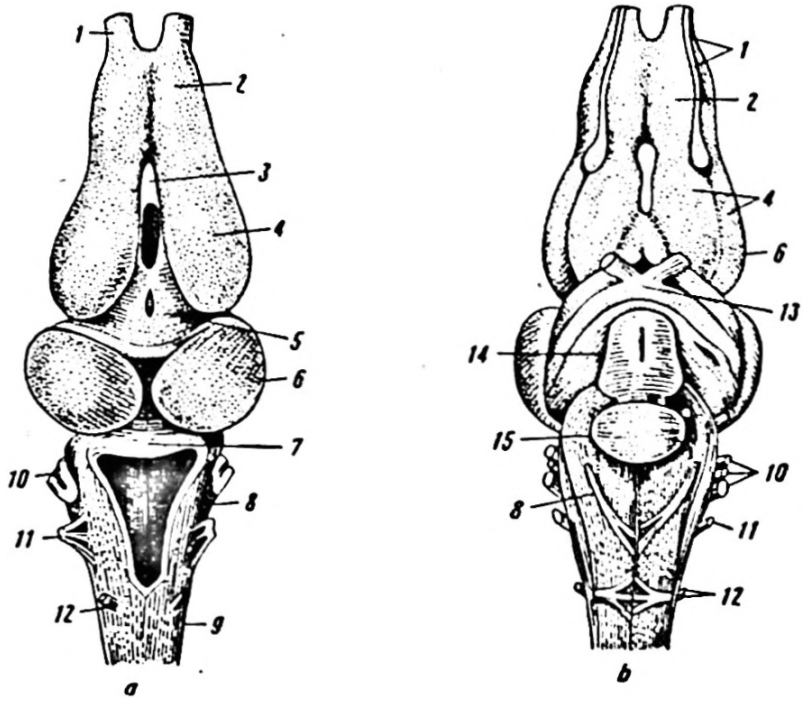


FIG. 282. Encéfalo de la rana: *a*, vista dorsal; *b*, vista ventral; 1, nervios olfatorios; 2, lóbulos olfatorios; 3, espacio libre entre los hemisferios; 4, hemisferios cerebrales; 5, diencéfalo; 6, tálamos ópticos (dos lóbulos); 7, cerebelo; 8, bulbo raquídeo; 9, médula espinal; 10, 11, nervios cerebrales; 12, nervios espinales; 13, quiasma óptico; 14, infundibulo; 15, hipófisis o cuerpo pituitario.

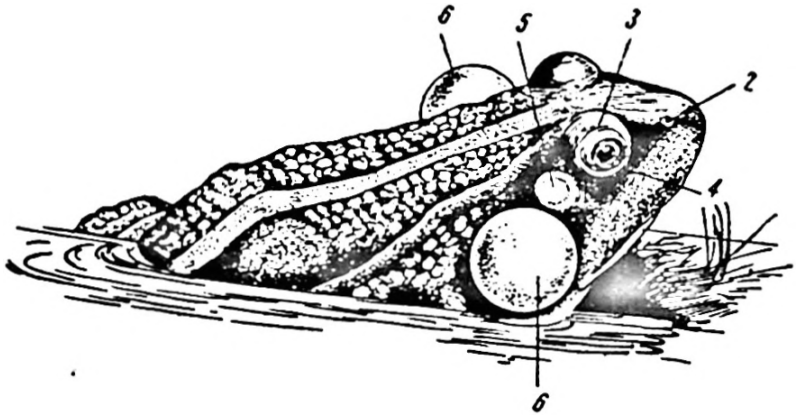


FIG. 283. Cabeza de una rana verde (vista lateral): 1, orificio bucal; 2, orificios nasales externos; 3, párpado superior; 4, párpado inferior; 5, tímpano; 6, resonadores exteriores.

superiores y la fusión de las venas laterales da origen a la *vena abdominal*. Existen los *sistemas porta-hepático* y *porta-renal*.

El sistema nervioso de los batracios se halla aún en una fase inferior de desarrollo; sin embargo, presenta una serie de rasgos progresivos.

El telencéfalo (fig. 282) es algo mayor que en los peces; los hemisferios se han separado totalmente. Su envoltura consta de una capa profunda de células nerviosas y otra superficial de fibras, aunque todavía no existe una verdadera corteza en el cerebro anterior. Están muy desarrollados los

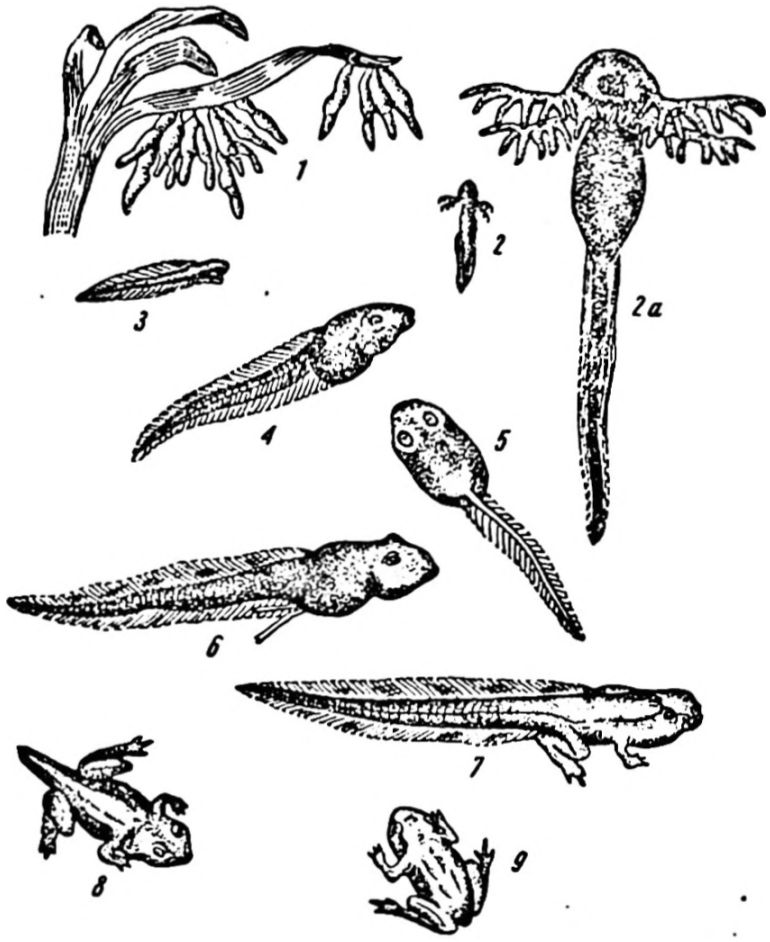


FIG. 284. Fases sucesivas del desarrollo de un renacuajo (1-8) hasta transformarse en una rana joven (9); 2a, segunda fase, muy aumentada.

bulbos olfatorios. Entre el telencéfalo y los centros situados a continuación no hay conductos; por eso, la ablación de los hemisferios no da lugar a alteraciones en la natación, en la captura de las presas y en el apareamiento. Por encima, el diencéfalo sólo está ligeramente cubierto por los hemisferios y el mesencéfalo. Son muy acusados los lóbulos ópticos del cerebro medio. El cerebelo es muy pequeño, lo que guarda relación con los movimientos tan uniformes y simples que realizan los batracios. El mielencéfalo, lo mismo que en los peces, no está cubierto por la parte superior. Del cerebro parten 10 pares de nervios craneales.

El paso de los anfibios a la vida terrestre trajo consigo la modificación de muchos órganos sensoriales (fig. 283). Los ojos, al igual que les sucede a todos los vertebrados terrestres, están adaptados para la visión a distancias más o menos lejanas, lo que se logra mediante la convexidad de la córnea y por la forma lenticular del cristalino. Para evitar que los

ojos se ensucien y se sequen han aparecido párpados y glándulas *lagrimales.*

El oído está mejor adaptado para captar las excitaciones acústicas: además del oído interno (*laberinto*) los anfibios tienen *oído medio* o *caja del tímpano*, en la que se halla el *estribo,* huesecillo que se desarrolló a partir del arco branquial y que aparece por vez primera en los batracios.

Los órganos olfatorios tienen, además de orificios externos, otros internos (*coanas*), a través de los cuales se comunican las fosas nasales con la faringe; al igual que en los vertebrados terrestres, este sistema sirve a la vez para percibir los olores y para respirar.

El aparato urogenital se asemeja, en lo que a su estructura respecta, al de los peces condrictios. Los dos riñones *mesonefríticos* tienen un canal secretor, el *de Wolff,* que se abre en la cloaca. En los machos, los canales deferentes de los testículos atraviesan los riñones y van a parar al uréter; por lo tanto, el canal de Wolff desempeña la doble función de evacuar la orina y el líquido seminal, es decir, que hace de *uroespermiducto.* En las hembras, el canal de Wolff sirve únicamente de uréter, haciendo de oviducto otro canal, el *de Müller,* que también desemboca en la cloaca.

En los anfibios aparece bastante acusado el dimorfismo sexual; generalmente, el macho es menor que la hembra; a veces las diferencias se reflejan en el colorido. Otro carácter sexual secundario lo constituye la emisión de sonidos, siendo los anfibios los primeros vertebrados que la poseen. Las hembras de las ranas disponen de unos *sacos vocales* o *resonadores* que se abren en la boca.

El desarrollo de los anfibios va acompañado de metamorfosis.

De los huevos de la rana sale una larva, el *renacuajo* (fig. 284). Tiene cola y 2 ó 3 pares de branquias externas a ambos lados de la cabeza: carece de apéndices pares; su riñón corresponde al tipo del pronefridio. Luego desaparecen las branquias externas y se desarrollan tres pares de aberturas con láminas branquiales. Durante este período, el renacuajo se asemeja mucho a un pez, no solamente por su configuración exterior, sino también por su estructura interna, ya que su corazón tiene una aurícula y un ventrículo y la circulación es sencilla. Después se desarrollan los pulmones. En esta fase, el sistema arterial del renacuajo guarda extraordinarias afinidades con el de los peces dipnoos y crosopterigios. Más adelante se reducen las branquias, los pliegues de la piel cierran las aberturas branquiales y el renacuajo pasa a la respiración pulmonar. Después se desarrollan las extremidades, la cola se reabsorbe, el intestino, adaptado a la alimentación vegetal, se reduce hasta alcanzar 1/6 de su longitud primitiva, y el renacuajo se convierte en carnívoro. Aparece el mesonefros y la larva se transforma paulatinamente en una rana joven.

La metamorfosis del renacuajo en rana ofrece un enorme interés teórico, ya que no sólo demuestra que los batracios proceden de seres piciformes, sino que permite también restablecer con todos los detalles la evolución de determinados sistemas y aparatos, especialmente del circulatorio y respiratorio, al pasar a la vida terrícola.

Está fuera de duda que los anfbios proceden de peces primitivos. Se trataba de peces que poseían un número par de ligeras aletas, de las que pudieron desarrollarse los apéndices pentadáctilos. Así eran los crosopterigios primitivos. Los anfibios más antiguos que se conocen pertenecían al grupo de los estegocéfalos. Los actuales no poseen la coraza característica de ellos y sus antecesores directos no se conocen; puede suponerse

que proceden de unos estegocéfalos primitivos, pero especializados, que debían tener una forma semejante a las salamandras.

Los batracios son los primeros cordados terrestres. Su aparición es un grandioso acontecimiento en la evolución de los vertebrados, que pasaron de un medio uniforme, el agua, a otro, la tierra, donde se dan las más variadas condiciones de existencia. Esta variedad condicionó la evolución ulterior en el medio terrestre, dando lugar a la aparición de las clases superiores de animales vertebrados (reptiles, aves y mamíferos).

VERTEBRADOS AMNIOTAS (AMNIOTA)

Clase 4ª Reptiles (Reptilia).

Los reptiles son los primeros vertebrados verdaderamente terrestres; en muchos de sus rasgos se diferencian notablemente de los batracios.

La característica de los batracios —la presencia de cuatro extremidades pentadáctilas— la conservan también los reptiles. Esto, así como la respiración pulmonar, caracteriza tan solo la primera fase de adaptación al medio de vida terrestre-aéreo. Una etapa en la adaptación ulterior a este medio es la del *huevo con cascarón*, en el que se desarrolla el embrión, rodeado por el *amnios* y el *alantoides*. La aparición de semejante huevo y de las membranas embrionarias permitió a los reptiles extenderse por la tierra, independizarse de la vida en medios acuáticos. Mas para ello, habían de prescindir de la respiración cutánea, que exigía una piel constantemente humedecida y la presencia de un medio húmedo; habían de perfeccionarse, pues, la respiración pulmonar y el aparato circulatorio. Unicamente el conjunto de todos estos caracteres hizo que los reptiles pudieran convertirse en verdaderos habitantes terrestres y continuar su evolución.

Aunque constituyen el origen de los vertebrados superiores, los reptiles ocupan el último lugar entre todos ellos en cuanto a organización; lo mismo que en los vertebrados inferiores, la temperatura de su cuerpo es *variable*, poseen dos *arcos aórticos* y la estructura de sus pulmones es relativamente primitiva.

La variedad de procedimientos de que disponen los reptiles para moverse es enorme. La forma originaria del cuerpo, alargado y que se arrastra por tierra, la han heredado de los estegocéfalos; en ellos es tan característico, que hasta nos lo dice en su nombre.

A diferencia de los anfibios, tienen la piel seca, sin glándulas, y recubierta por formaciones *córneas*: escamas, placas o coraza. La epidermis se diferencia en dos capas: una *córnea*, que ejerce la función protectora, y otra interior, la *de Malpigio*, constituída por células vivas, que se reproducen. Al principio, la capa córnea fue un dispositivo que preservaba al animal de la desecación. Después, fue adquiriendo paulatinamente la función protectora del cuerpo contra las lesiones mecánicas. Esta protección se perfeccionó cuando las formaciones córneas se cubrieron inferiormente de osificaciones, desarrolladas en la piel; tal es el carácter de las formaciones óseas de ciertos lagartos y cocodrilos y, por último, de las placas óseas de las tortugas.

Respecto a los rasgos específicos del esqueleto, conviene señalar su división en partes, más amplia aún que en los anfibios (fig. 285). La columna vertebral se divide en cuatro secciones: la *cervical, la toracolumbar*, la *pélvica* y la *caudal.*

En los reptiles inferiores las vértebras son de forma anficélica; en los superiores, son procélicas y en ellas desaparece totalmente el notocordio. La gran movilidad de la cabeza y, por lo tanto, el empleo más perfecto

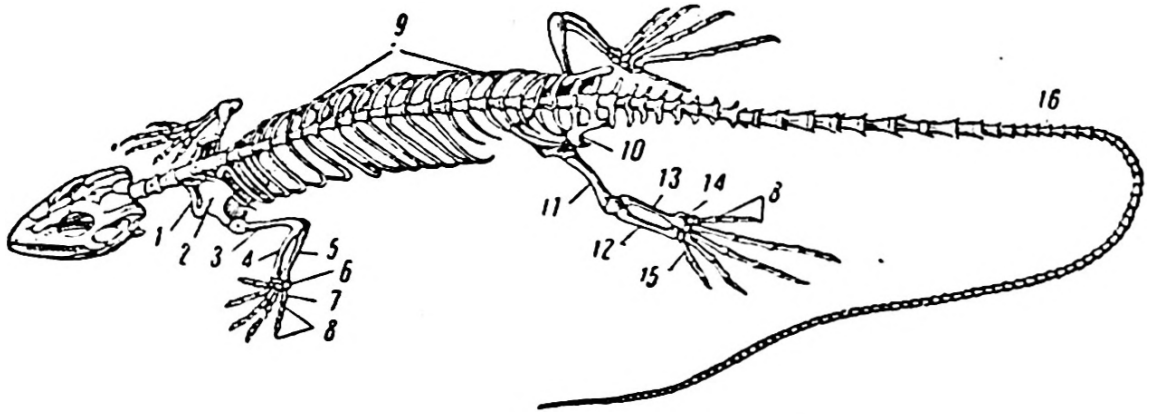


FIG. 285. Esqueleto de un lagarto: 1, clavícula; 2, escápula; 3, húmero; 4, radio; 5, cúbito; 6, carpo; 7, metacarpo; 8, falanges de los dedos; 9, costillas; 10[a] pelvis; 11, fémur; 12, tibia; 13, peroné; 14, astrágalo; 15, calcáneo; 16, vértebras caudales.

de los órganos sensoriales, se logra gracias al desarrollo de la porción *cervical.* (A este respecto es interesante recordar la aparición de esta región en los insectos, representantes superiores de los invertebrados, que se han adaptado maravillosamente a la vida terrestre). La primera vértebra cervical de los reptiles, el *atlas* o *atlante,* tiene forma anular, característica de los amniotas; en el anillo hay *una sola* apófisis articular (cóndilo occipital). La región torácica posee vértebras bien desarrolladas, de las cuales, las anteriores se unen al *esternón,* formando la *caja torácica.* Hay dos vértebras sacras, cuya unión con la pelvis es más resistente que en los batracios. La región caudal la constituye un número muy variable de vértebras.

El cráneo se caracteriza por la casi total osificación del cráneo cartilaginoso primitivo y el desarrollo de un gran número de huesos cutáneos. La unión con la columna vertebral se realiza a través de *un cóndilo.* Las cinturas son más resistentes que en los anfibios; ello demuestra una gran adaptación a los movimientos en la tierra. El esqueleto de las extremidades corresponde totalmente al plan estructural de la extremidad pentadáctila terrestre, y no tiene rasgos específicos.

La disposición metamérica de los músculos, característica de los vertebrados inferiores, casi no se conserva: el sistema muscular está muy diferenciado. Aparecen músculos *intercostales,* que desempeñan un importante papel en el acto respiratorio.

En el aparato digestivo (fig. 286), algo más complicado que en los anfibios, hay que señalar el desarrollo de los dientes, que suelen ser, como en los batracios, de forma cónica simple y sirven únicamente para apode-

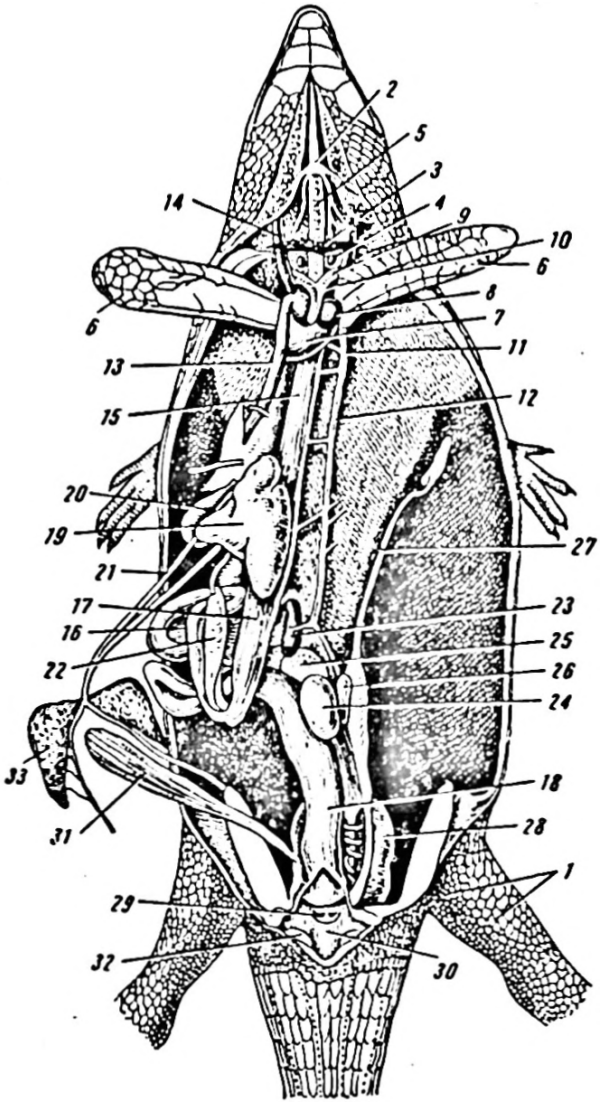


Fig. 286. Anatomía de un lagarto (macho): 1, poros de las ancas; 2, hueso sublingual; 3, glándula tiroidea; 4, timo; 5, tráquea; 6, pulmón; 7, ventrículo; 8, aurícula izquierda; 9, arteria carótida izquierda; 10, arco aórtico izquierdo; 11, lugar de unión de los arcos aórticos izquierdo y derecho; 12, aorta dorsal; 13, vena hepática; 14, vena yugular derecha; 15, esófago; 16, intestino delgado; 17, estómago; 18, recto; 19, hígado; 20, vesícula biliar; 21, conducto biliar; 22, páncreas; 23, bazo; 24, 25, testículos, izquierdo (24) y derecho (25); 26, cápsula suprarrenal; 27, rudimento del canal de Müller; 28, riñón; 29, orificio urogenital derecho; 30, pared posterior de la cloaca; 31, vejiga urinaria; 32, extremo anterior del órgano copulador; 33, cuerpo amarillo.

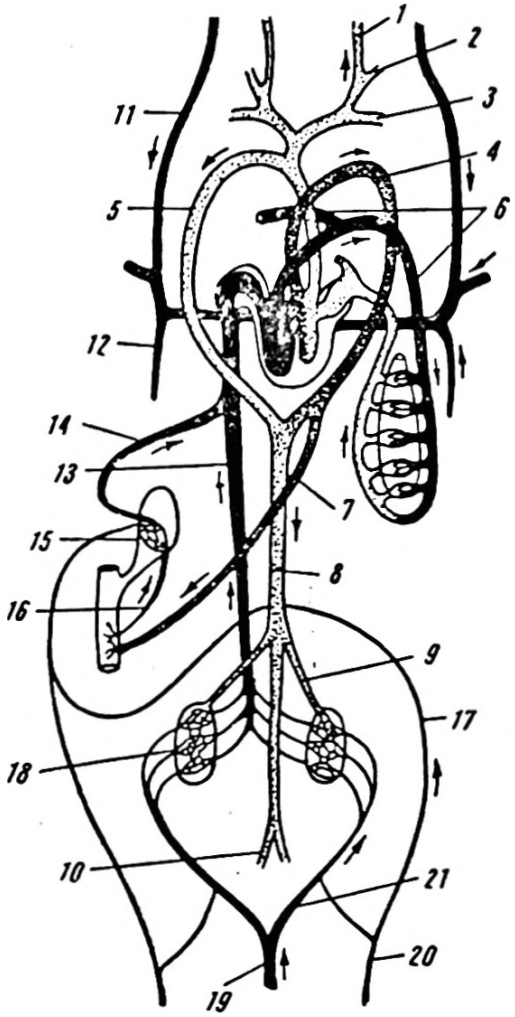


Fig. 287. Esquema del sistema circulatorio de los reptiles: 1, arteria carótida externa; 2, arteria carótida interna; 3, arteria subclavia; 4, arco aórtico izquierdo; 5, arco aórtico derecho; 6, arterias pulmonares; 7, arteria celiaca; 8, aorta dorsal; 9, arteria renal; 10, arterias ilíacas; 11, vena cardinal (yugular); 12, derivación posterior de la vena cardinal; 13, vena cava inferior; 14, vena hepática; 15, hígado; 16, vena porta-hepática; 17, vena abdominal izquierda; 18, riñón; 19, vena sacra; 20, vena femoral; 21, vena isquiática.

rarse de la presa y sujetarla. Sin embargo, algunos lagartos ofrecen una diferenciación dentaria y los dientes son ya heterodontos: los anteriores son relativamente pequeños y recuerdan los *incisivos;* a continuación van colocados unos dientes cónicos grandes, semejantes a los *colmillos* o *caninos* y los posteriores poseen varios *tubérculos.*

Los cocodrilos tienen los dientes tecodontos.

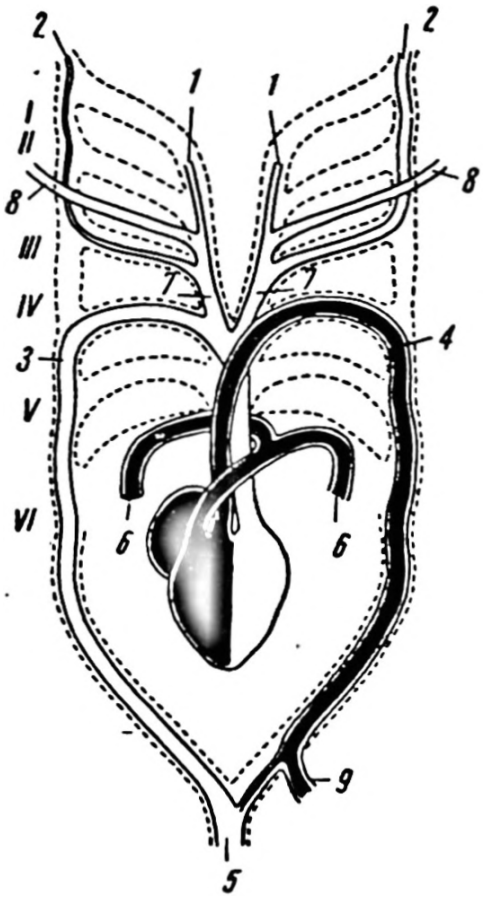


FIG. 288. Esquema de los arcos arteriales del cocodrilo, vistos desde la parte ventral: I-VI, arcos branquiales: 1, arteria carótida interna; 2, arteria carótida externa (la derecha está casi atrofiada); 3, arco aórtico derecho; 4, arco izquierdo; 5, aorta dorsal; 6, arteria pulmonar; 7, arteria innominada; 8, arteria subclavia; 9, arteria celíaca.

El único órgano respiratorio de los reptiles son los pulmones, de estructura bastante complicada. Son sacciformes, igual que en los anfibios, pero sus paredes inferiores están cubiertas de una tupida red de pequeñas trabéculas, que constituyen alvéolos semejantes a las celdillas de las abejas. Es característica la diferenciación de los conductos respiratorios: de la *faringe* parte la *tráquea,* que se bifurca por su parte posterior en dos *bronquios,* tubos cortos, que sólo poseen los amniotas.

El mecanismo respiratorio de los vertebrados superiores se diferencia totalmente del de los batracios; el aire no se traga simplemente por la boca, sino que se aspira, hasta llegar a los pulmones, y se expulsa mediante dilataciones y contracciones periódicas de la cavidad torácica; semejante respiración asegura un intercambio gaseoso más perfecto.

El sistema circulatorio presenta más separadas las corrientes sanguíneas arterial y venosa. El corazón (fig. 287) continúa siendo de *tres cavidades,* pero el tabique longitudinal del ventrículo lo divide incompletamente en dos mitades. Unicamente los cocodrilos presentan una separación total de los dos ventrículos. En los reptiles, el seno venoso forma parte de la aurícula derecha, el cono arterial también se reduce y los arcos aórticos salen independientes uno de otro: el derecho, de la parte izquierda del ventrículo, y el izquierdo de su mitad derecha, muy cerca del tabique. A lo largo del arco derecho, del que salen las arterias carótidas y subclavias, corre la sangre arterial. Por lo tanto, toda la parte anterior del cuerpo está alimentada con sangre muy rica en oxígeno. Por el arco izquierdo, que da origen a la arteria gastrointestinal, que riega las vísceras, circula sangre mezclada. Por consiguiente, a lo largo de la arteria dorsal circula, igual que en los batracios, sangre *mezclada,* aunque la sangre oxigenada predomina claramente. De la mitad derecha del ventrículo salen, por un tronco especial, las arterias pulmonares, que conducen a los pulmones sangre venosa.

Es interesante observar que en los *cocodrilos*, con un corazón de *cuatro cavidades*, circula por el cuerpo, a pesar de todo, sangre mezclada (fig. 288); conservan el arco aórtico izquierdo, que lleva del ventrículo derecho sangre venosa, y que, al fundirse con el arco derecho en la aorta dorsal, da lugar a que se mezclen en esta última la sangre arterial y la venosa.

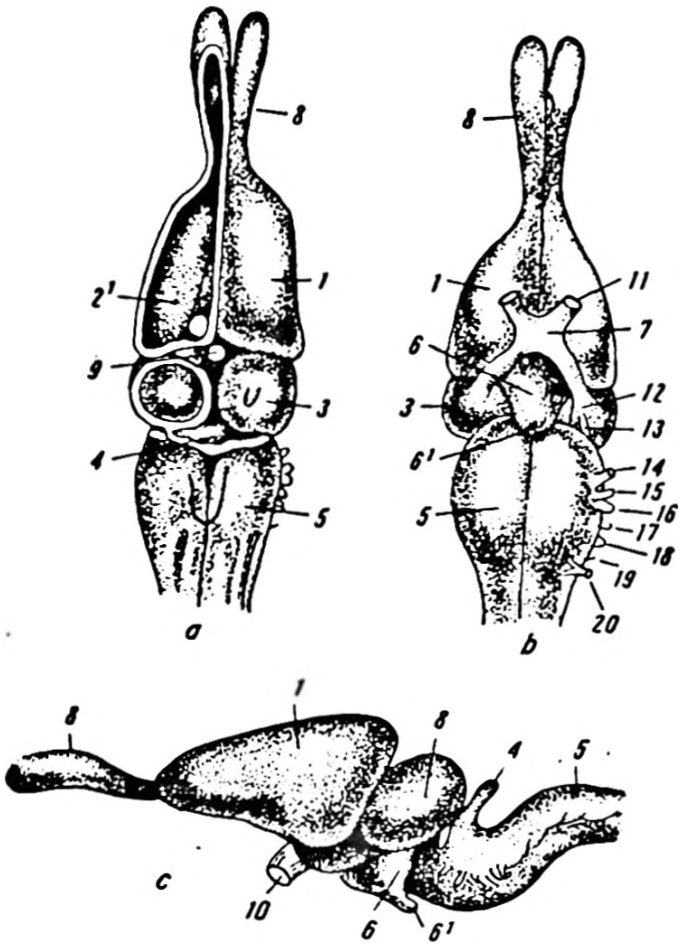


FIG. 289. Encéfalo de un lagarto: *a*, cara dorsal; *b*, cara ventral; *c*, visto de perfil; 1, telencéfalo; 2, cuerpo estriado; 3, mesencéfalo; 4, cerebelo; 5, mielencéfalo; 6, infundíbulo; 6', hipófisis; 7, quiasma; 8, lóbulo olfatorio; 9, epífisis; 10-20, nervios craneales.

Respecto a otras características del sistema arterial de los reptiles, que muestran su carácter intermedio, es necesario señalar la existencia (en los lagartos) de un conducto entre las arterias carótidas y los arcos aórticos, que corresponde al tercer arco arterial de los peces; en las tortugas, a través de los *orificios de Botal* se mantiene la relación entre los arcos aórticos y las arterias pulmonares.

El sistema venoso no se diferencia mucho del de los anfibios. Su carácter de transición se revela, en particular, en la incipiente reducción del sistema porta-renal; éste último se forma únicamente a partir de los vasos de la cola, mientras que la sangre procedente de los miembros posteriores va por la vena abdominal al sistema porta-hepático.

El sistema nervioso es más perfecto que en los batracios. Los hemisferios telencefálicos (fig. 289) están mucho más desarrollados. Su rasgo característico es la presencia de una capa superficial de sustancia gris, de estructura determinada, que forma ya una verdadera *corteza cerebral,* bien es cierto que con muy poco desarrollo todavía.

El bulbo raquídeo forma una marcada curva en sentido vertical que, en general, es característica de los amniotas. El cerebelo está bien desarrollado; hay ya 11 pares de nervios craneales.

Los órganos excretores están representados por riñones secundarios (metanefros). El uréter se forma mediante la estrangulación de un canal, a partir de la porción distal del canal de Wolff. Los riñones primordiales aparecen totalmente reducidos en las hembras; los machos conservan la parte anterior del riñón (a través de la cual pasan los canales deferentes), que es un *apéndice del testículo* (epidídimo). Sirven de conductos deferentes del aparato genital: en los machos, el canal de Wolff, y en las hembras, el de Müller.

En cuanto a la forma de reproducirse, hay reptiles ovíparos y vivíparos. Los huevos poseen un cascarón calcáreo resistente y gran cantidad de deutoplasma. Paren hijos vivos algunos lagartos, todas las serpientes de mar y algunas culebras cavadoras. Sin embargo, incluso cuando se desarrolla en el organismo materno, el embrión no mantiene ninguna relación con él y se alimenta únicamente a expensas del deutoplasma que hay en el huevo. Por lo tanto, en los reptiles no hay diferencias sustanciales entre el oviparismo y el viviparismo; la única diferencia es si el cascarón se rompe en los conductos genitales o después de salir de ellos. El progreso que esto último representa es que las crías logren una protección mejor respecto a la influencia del medio exterior.

Los ciclóstomos, los peces y los anfibios ponen *huevas,* es decir, huevos no fecundados, y son totalmente *vivíparos.* Los reptiles se caracterizan por la inseminación interna, pero el embrión se desarrolla sin relacionarse con el organismo materno y se nutre únicamente de sus propias reservas: pertenecen al grupo de los *ovovivíparos.*

La clase de los reptiles actuales (fig. 290) se divide en cuatro subclases:

1. *Prosaurios* (Prosauria), cuyo único representante es el *Sphenodon* (Hateria), que vive en las islas de Nueva Zelanda y se caracteriza por su estructura totalmente primitiva.

2. *Lepidosaurios* (Squamata) —*lagartos* y *lagartijas, camaleones* y *ofidios*—, constituyen un grupo de reptiles que en la época geológica actual se encuentra en pleno desarrollo. Su cuerpo está siempre cubierto de escamas córneas.

3. *Cocodrilos* (Crocodilia), que son los reptiles de organización más elevada; esto se refleja principalmente en la estructura de su sistema circulatorio.

4. *Tortugas* (Chelonia), que se caracterizan por la presencia de un órgano pasivo de protección, la coraza ósea. La parte dorsal o espaldar la forman placas óseas de origen epidérmico, con las que se sueldan las apófisis de las vértebras y las costillas. Tienen mucha vitalidad y pueden pasar años enteros sin alimentación.

Los reptiles ofrecen un gran interés teórico, por ser los primeros vertebrados verdaderamente terrestres, y al mismo tiempo tienen importancia directa para el hombre. Lo más destacable es el daño que representan las

serpientes venenosas. La mayoría de las serpientes no lo son y matan a sus presas mediante la acción mecánica de los dientes o contrayendo el cuerpo, que enroscan alrededor de la víctima. Las venenosas tienen varios dientes anteriores de mayor tamaño, que poseen canales o surcos por donde sale el veneno.

Matan al hombre las picaduras de la *serpiente de cascabel*, la *cobra*, la *efa*, la *Víbora lebetina* y muchas serpientes marinas. En la U. R. S. S., ofrecen especial peligro: la *cobra gris* y la *víbora del desierto* (en el Sur del Asia Central), la *Víbora lebetina* (Transcaucasia y Asia Central), la *víbora de Armenia* (Transcaucasia Oriental); la picadura de estas serpientes es muchas veces mortal. Rara vez cuestan la vida, pero son muy dolorosas las picaduras de la *víbora común* (parte europea de la U. R. S. S. y Siberia), la *víbora de la estepa* (regiones esteparias de la parte europea de la U. R. S. S., Cáucaso y Asia Central), el *Ancistrodon* (regiones situadas al Este del Volga, Transcaucasia Oriental, Asia Central y Siberia Meridional) y algunas otras.

A fines del periodo carbonífero las condiciones se hicieron desfavorables para los anfibios primitivos, los estegocéfalos; el clima se volvió seco y continental; ahora bien, estas condiciones propiciaban el desarrollo de los reptiles. Los reptiles más antiguos conocidos son los *cotilosauros;* en una serie de rasgos se revela el indudable parecido existente entre ellos y los estegocéfalos. Los cotilosauros constituyen el grupo inicial reptiliano, que dio origen a todos los demás. La evolución de los reptiles se debió a la variabilidad y estuvo relacionada con la adaptación a las más diferentes condiciones de vida: en tierra, en el agua y en el aire (fig. 291). El desarrollo de la mayoría trajo consigo la aparición de formas más móviles con un esqueleto ligero, pero al mismo tiempo resistente.

Los reptiles alcanzaron un gran desarrollo en la era Mesozoica, que se conoce con el nombre de *época de los saurios.*

A fines del mesozoico, la mayoría de los reptiles se extinguió; las formas actuales son pobres y poco numerosos vestigios del grupo que floreció en aquellos tiempos. Los reptiles actuales incluyen más de 4,000 especies. La desaparición de las formas primitivas se debe no sólo a los profundos cambios habidos en la superficie terrestre, sino también a la lucha por la vida con animales de organización superior, las aves y los mamíferos.

Clase 5ª Aves (Aves).

Por su estructura, las aves se asemejan mucho a los reptiles, y es frecuente incluirlos en un solo grupo, los *saurópsidos* (Sauropsida). Considéranse las aves como una rama progresiva de reptiles, que adquirió la capacidad de volar. En pocas palabras, podemos definir las aves como amniotas bípedos cuyos miembros anteriores se han transformado en *alas,* que tienen el cuerpo cubierto de *plumas* y la temperatura de su cuerpo es *constante y elevada* (homotermos). Es precisamente la temperatura superior al ambiente lo que dio a las aves enormes ventajas en comparación con los reptiles, que degeneraron al disminuir la temperatura del medio.

Toda la organización de las aves es un maravilloso ejemplo de adapta-

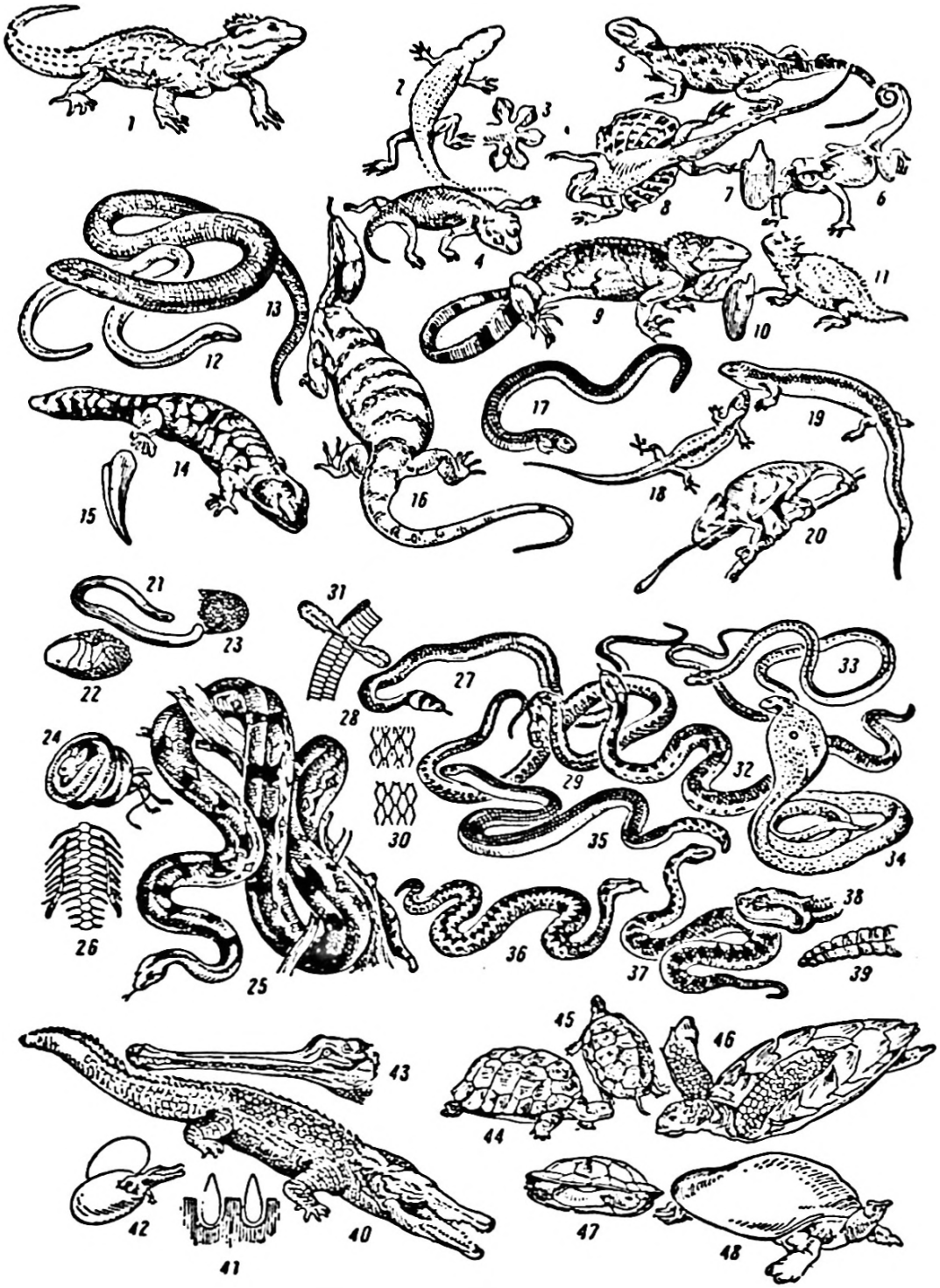


FIG. 290. Reptiles actuales: 1, *Sphenodon* (Hateria); 2, geco salpicado; 3, pata de geco *Crossobamon eversmanni;* 4, geco *Teratoscincus; scincus* 5, *Agama sanguinolenta;* 6, *Phrynocephalus mystacens* (en actitud amenazadora); 7, diente de agama; 8, dragón volador; 9, iguana; 10, diente de iguana; 11, frinosoma cornudo; 12, lución; 13, serpiente de vidrio; 14, heloderma; 15, diente de heloderma; 16, *Varanus griseus;* 17, vipes; 18, *Lacerta agilis;* 19, Eumeces; 20, camaleón; 21, *Typhlops vermicularis;* 22, cabeza de *Typhlops;* 23, parte posterior del cuerpo de *Typhlops;* 24, Ery (estrangulando a un jerbo); 25. boa común; 26, esqueleto de la cintura pelviana de la boa; 27, *Natrix natrix;* 28, escamas de *Natrix;* 29, *Coronella austriaca;* 30, escamas de *Coronella austriaca;* 31, órganos copuladores de las serpientes; 32, *Coluber tyria;* 33, *Taphrometopon lineolatum;* 34, serpiente de anteojos (en actitud amenazadora); 35, serpiente marina *Pelamydrus platurus;* 36, víbora; 37, Ancistrodon; 38, cabeza de la serpiente de cascabel; 39, extremo de la cola de la serpiente de cascabel; 40, cocodrilo; 41, dientes de cocodrilo; 42, huevos de cocodrilo; 43, gavial; 44, tortuga del Turquestán (*Clemmis caspica*); 45, tortuga de los pantanos (*Emys orbicularis*); 46, *Caretta caretta;* 47, *Hyromedusa tectifera;* 48, *Dermochelys coriaccea.*

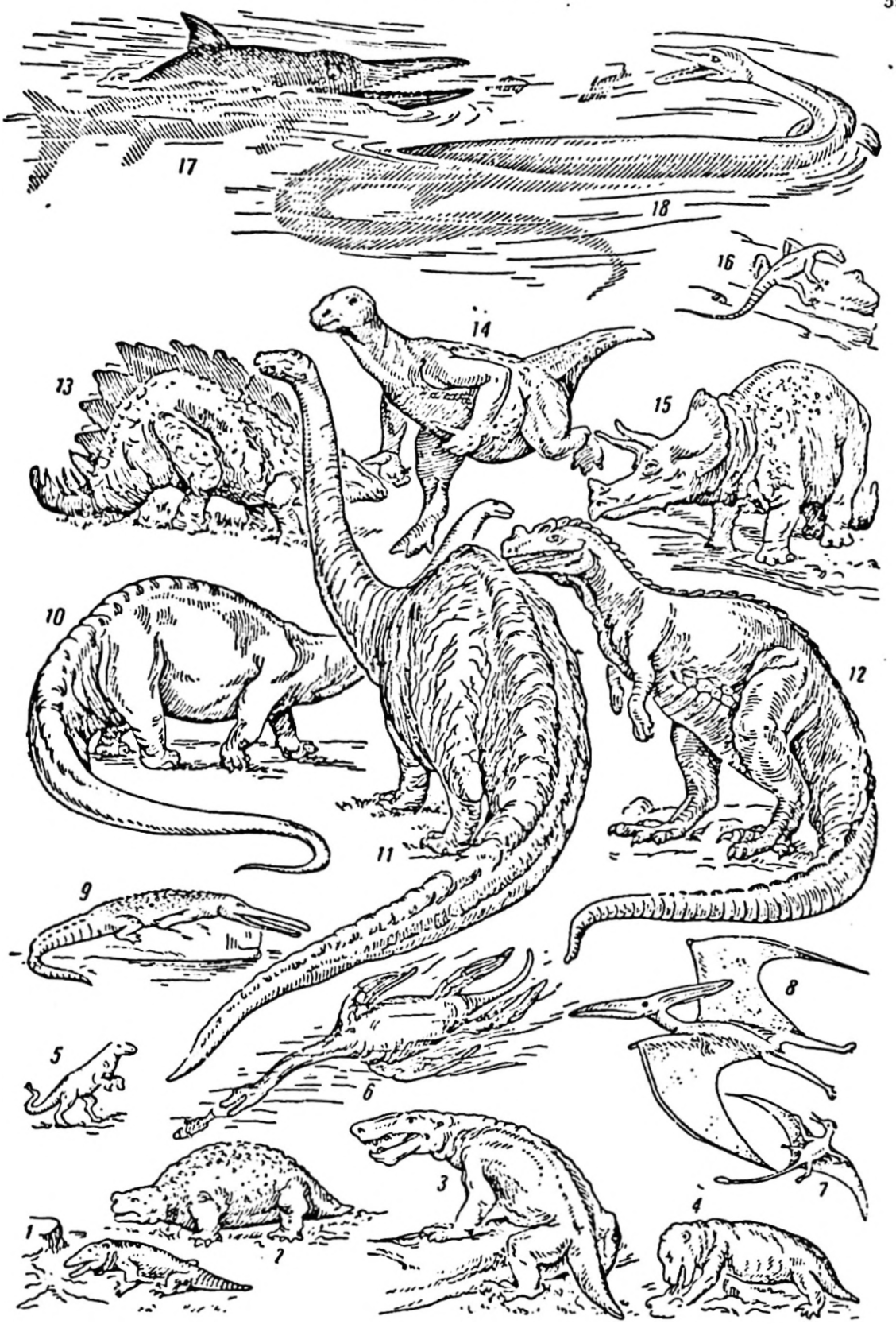


FIG. 291. Reptiles fósiles: 1, *Seymouria;* 2, *Pareiosaurus;* 3, *Inostrancevia;* 4, *Cinognatus;* 5, *Ornitosus;* 6, plesiosaurio; 7, *Ramphorhynchus;* 8, pterodáctilo:*Pteranodon;* 9, *Belodon;* 10, *Diplodocus;* 11, *Brontosaurus;* 12, *Ceratosaurus:* 13, *Stegosaurus:* 14, iguanodonte; 15, *Trideratops;* 16, *Areosrelis;* 17, ictiosauro, 18, mosasaurio.

ción a condiciones específicas de vida. Su cuerpo es compacto y la cabeza con el cuello, las extremidades (alas y patas) y la cola tienen gran ligereza; la superficie de las alas extendidas y de la cola es muy grande en comparación con la del cuerpo.

La piel de las aves es fina; carece totalmente de glándulas, a excepción de la llamada *uropigio,* que produce materia grasienta para las alas. En el *pico,* la piel origina un *repliegue córneo,* la *cera;* en las extremidades, *escamas córneas* y en los dedos, las *uñas.* Todo el cuerpo está cubierto

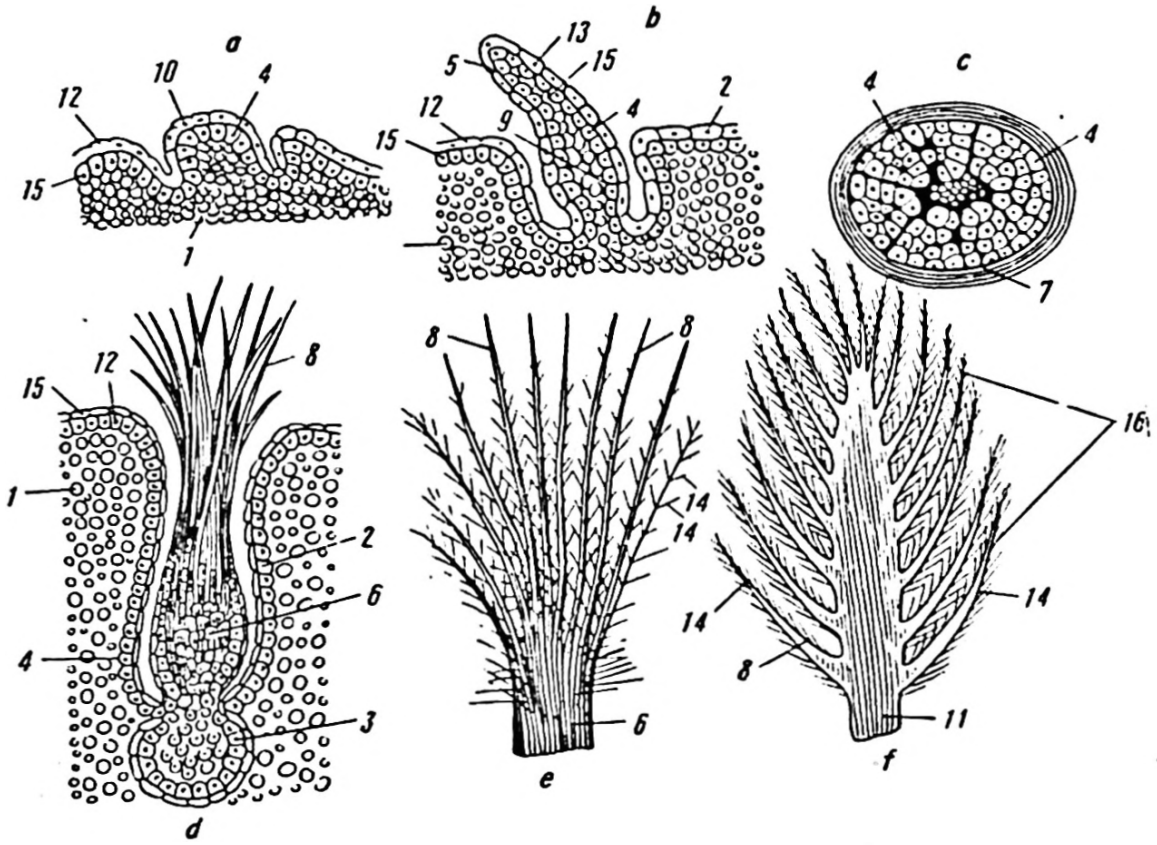


FIG. 292. Seis fases del desarrollo de una pluma: *a,* papila de la pluma en su folículo; *b,* formación del rudimento de la pluma; *c,* sección transversal del rudimento de la pluma; *d,* plumón (de una cría) en su folículo; *e,* el mismo plumón fuera del folículo; *f,* fase temprana de la estructura de una pluma definitiva; 1, dermis; 2, folículo de plumón; 3, folículo de pluma definitiva; 4, papilas de la capa de Malpigio en el rudimento de la pluma; 5, rudimento de la pluma; 6, cañón del plumón; 7, vaina de la pluma; 8, barbas; 9, papila; 10, rudimento de pluma; 11, raquis; 12, capa córnea; 13, su continuación en la papila de la pluma; 14, barbillas (hiporraquis); 15, capa de Malpigio; 16, Vexillum.

de *plumas.* El desarrollo ontogenénico de las plumas (fig. 292) señala su relación genética con las formaciones escamosas (en las fases tempranas los esbozos de las plumas son muy semejante a los rudimentos de las escamas de los reptiles).

El esqueleto de las aves (fig. 293) se caracteriza por la ligereza de los

huesos y, además, por su resistencia y la de sus articulaciones. Los huesos de las aves son *neumáticos*, es decir, tienen grandes cavidades portadoras de aire. La columna vertebral se divide en región *cervical, torácica, pélvica* y *caudal;* la región lumbar forma parte de la pelvis. Las vértebras de la región cervical, que es extraordinariamente móvil, son *heterocélicas;* sus apófisis son cóncavo-convexas y tienen forma de silla de montar. El atlas posee una articulación para el único cóndilo occipital. Las vértebras torácicas están soldadas entre sí y con el sacro. Las costillas van unidas al *esternón,* que es de gran tamaño y presenta una *quilla* o *paletilla,* saliente, sobre la que se insertan los músculos torácicos que mueven las alas. El sacro es muy complicado y ofrece, a través de la pelvis, un apoyo resistente a las extremidades posteriores. Están muy bien adaptadas al vuelo las extremidades anteriores y sus cinturas; el *omoplato,* en forma de sable, se desliza libremente por las costillas; las patas ofrecen las partes que son típicas de las extremidades pentadáctilas, aunque bastante modificadas y parcialmente reducidas.

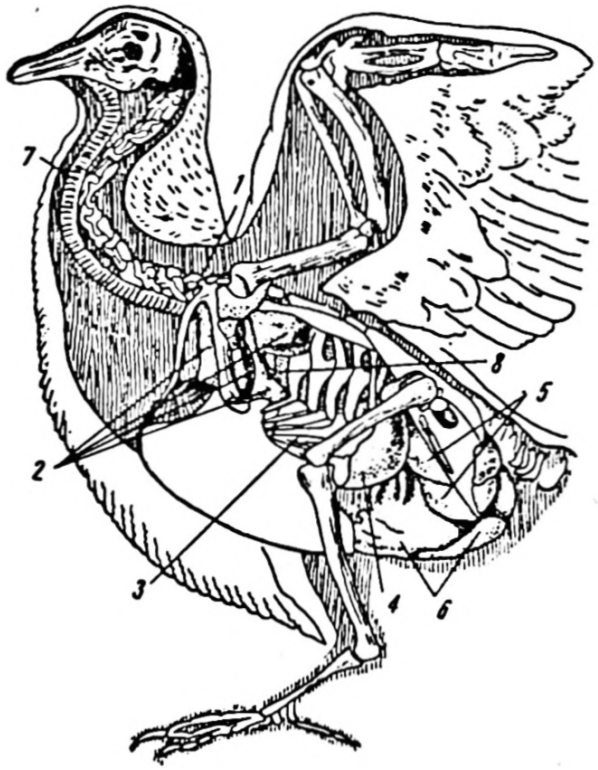


Fig. 293. Distribución de los sacos aéreos en el cuerpo de la paloma: 1, saco cervical; 2, saco interclavicular con la cavidad adventicia: 3, 4, sacos pectorales anterior y posterior; 5, 6, sacos abdominales izquierdo y derecho; 7, tráquea; 8, pulmón.

Todos los huesos del cráneo están tan unidos que incluso llegan a desaparecer las suturas. En este sentido, las aves se parecen a los *murciélagos* (mamíferos) y los *pterodactylus* (reptiles voladores primitivos); la causa de este fenómeno parece ser la necesidad de aligerar el cráneo, lo mismo que el resto del cuerpo, para facilitar el vuelo. Las mandíbulas de las aves actuales carecen también de dientes y están cubiertas de unas ligeras formaciones córneas.

El aparato digestivo de muchas aves (fig. 294) ofrece un rasgo típico, una dilatación del esófago (*buche*), en el que la comida se reblandece. El estómago se compone de una parte anterior *glandular,* el *proventrículo,* y de otra posterior, *musculosa,* la *molleja.*

Por tanto, es característico de las aves, como ya se ha señalado, la falta de dientes, cuya función desempeña la molleja. Otro rasgo típico es la longitud, relativamente corta, del intestino, que además no está diferenciado en grueso y recto. Tienen un *hígado bilaminar* y, en la mayoría, *vesícula biliar.*

El aparato respiratorio ofrece rasgos específicos. La tráquea se divide

en dos *bronquios*, que se ramifican en los pulmones. Estos no son sacos, como en los anfibios y los reptiles, sino compactos cuerpos esponjosos. Al penetrar en los pulmones, los bronquios se ramifican; entre las distintas ramas hay tubitos conectivos, de los que parten otros, los *bronquiolos* finísimos y ramificados, terminados en fondo ciego. Sus paredes están rodeadas por una red de capilares sanguíneos. Algunas de las ramas principales de los bronquios atraviesan totalmente los pulmones y van a abrirse en enormes *sacos aéreos, los cuales* están dispuestos entre las vísceras, envolviéndolas. Sirven para mantener la temperatura, ya que crean capas malas conductores del calor, y para disminuir el peso específico del cuerpo. Sin embargo, su función principal se revela en la respiración durante el vuelo. Al levantar las alas se distienden, llenándose de aire a través de los pulmones: al bajarlas se contraen, y el aire vuelve a salir a través de los pulmones. En los sacos aéreos no hay oxidación de la sangre, pero como su volumen supera en mucho al de los pulmones, solamente una parte del oxígeno que penetra en los sacos es utilizado por aquéllos. El aire, que al salir es todavía rico en oxígeno, vuelve a oxidar la sangre en los pulmones. Por lo tanto, la oxidación de la sangre tiene lugar a la entrada y a la salida. Este fenómeno recibe el nombre de *respiración doble*. Su importancia es evidente; la elevada energía de la respiración la alcanzan las aves en vuelo automáticamente, a medida que aumenta el trabajo de las alas y crece la necesidad de oxígeno.

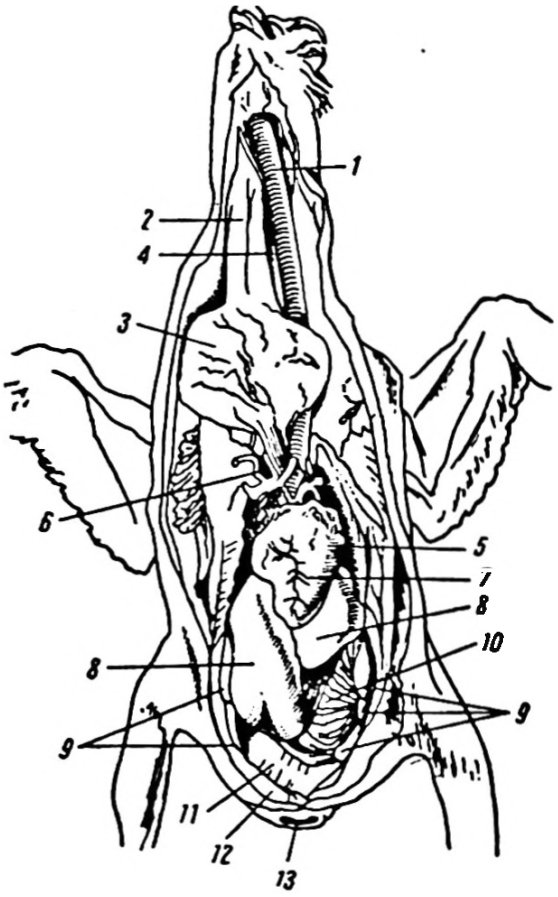


FIG. 294. Anatomía de la paloma: 1, tráquea; 2, esófago; 3, buche; 4, timo; 5, pulmón; 6, glándula tiroides; 7, corazón; 8, hígado; 9, sacos aéreos; 10, molleja; 11, duodeno; 12, páncreas; 13, cloaca.

El *aparato fonador* (*siringe*) se halla en el lugar en que la tráquea se bifurca en los dos bronquios. Membranas vibrantes, cuya tensión la regulan músculos especiales, son las que permiten el canto.

Una característica del aparato circulatorio de las aves es la separación total de las corrientes sanguíneas arterial y venosa. El corazón posee *cuatro cavidades,* dos aurículas y dos ventrículos (fig. 295). En los embriones de las aves puede observarse la existencia de dos arcos aórticos, los mismos que tienen los vertebrados inferiores durante toda su vida; en las aves adultas se conserva tan sólo el *arco aórtico derecho,* que parte del ventrículo izquierdo. Del ventrículo derecho salen formando un solo tron-

co *dos arterias pulmonares*. El proceso del paso de la circulación sencilla a la doble, que comenzó en los peces dipnoos y en los batracios, termina completamente en las aves. La sangre arterial procedente del ventrículo izquierdo se reparte por el cuerpo y, en forma de sangre venosa, vuelve a la aurícula derecha (*circulación mayor*); de allí va al ventrículo derecho, desde donde pasa a los pulmones para regresar de nuevo, ya como sangre arterial, a la aurícula izquierda (*circulación menor*). La sangre arterial y la venosa no se mezclan; a todos los órganos los riega sangre arterial, que garantiza a los tejidos una intensa respiración. Con ello se logra reforzar el metabolismo y alcanza un aumento general la actividad vital del organismo.

El sistema venoso de las aves presenta un sistema porta-renal rudimentario. Desde la cabeza y las alas la sangre va a *dos venas cavas anteriores*. Todos los vasos de la parte posterior del cuerpo se reúnen en una *vena cava posterior*. Las tres venas van a parar a la aurícula derecha.

El sistema nervioso es más complicado que el de los reptiles. El encéfalo es grande (fig. 296), lo que se debe principalmente al desarrollo de los hemisferios telencefálicos. Sin embargo, lo mismo que en los reptiles, la corteza aún está poco desarrollada. Es característico del encéfalo de las aves el gran desarrollo que alcanza el cerebelo, lo que está relacionado, al parecer, con el vuelo, que exige movimientos muy coordinados. Hay 12 pares de nervios cefálicos.

Los órganos de la vista y el oído están en las aves muy desarrollados; el olfato, en cambio, lo está poco. Desempeñan el papel de órganos excretores dos *metanefros* con los *uréteres*, que se abren en la cloaca; falta la vejiga urinaria, por los que los productos de la eliminación no se retienen en el organismo.

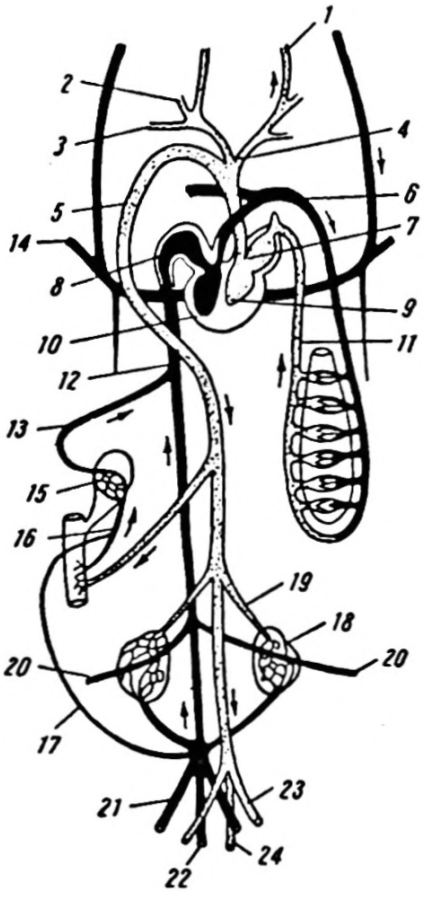


FIG. 295. Esquema del sistema circulatorio de las aves: 1, arteria carótida externa; 2, arteria carótida interna; 3, arteria subclavia; 4, arteria innominada; 5, arco aórtico; 6, arteria pulmonar; 7, aurícula izquierda; 8, aurícula derecha; 9, ventrículo izquierdo; 10, ventrículo derecho; 11, vena pulmonar; 12, vena cava inferior; 13, vena hepática; 14, vena subclavia; 15, hígado; 16, vena porta-hepática; 17, vena mesentérica; 18, riñones; 19, arteria renal; 20, venas femorales; 21, venas ilíacas; 22, vena sacra; 23, arterias ilíacas; 24, arteria sacra.

Los órganos genitales de los machos son pares; a los *testículos* ovoides se unen unos apéndices poco desarrollados, de cada uno de los cuales sale un *espermiducto*, que termina en la *cloaca*. En casi todas las aves, el sis-

tema genital de las hembras es asimétrico; consta de un *ovario izquierdo* y un *oviducto izquierdo;* el oviducto desemboca por un extremo en la cloaca y por el otro (embudo), en la cavidad del cuerpo. El "huevo" de las aves es de formación complicada. El verdadero óvulo, que se forma en el ovario, es la parte que comúnmente conocemos con el nombre de "yema"; las porciones restantes (la clara, la membrana cortical y la cáscara) las produce el oviducto y constituyen un sistema de envolturas.

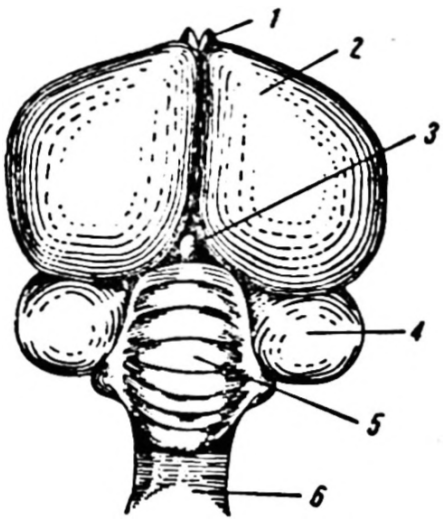


FIG. 296. Encéfalo de la paloma, visto por la cara dorsal: 1, bulbo olfatorio; 2, hemisferios cerebrales; 3, cuerpo pineal; 4, lóbulos olfatorios del mesencéfalo; 5, cerebelo; 6, bulbo raquídeo.

Ofrecen interés los complicados instintos de que dan prueba las aves con motivo de la reproducción. Es muy patente la preocupación por su progenie, la construcción de nidos, la incubación de los huevos, el cuidado, alimentación y defensa de las crías.

Las aves actuales pertenecen a la subclase de *ornituras* (Neornithes) a diferencia de las *saururas* (Archaeornithes), que vivían en el período Jurásico. En la actualidad se conocen más de 8.000 especies; su clasificación es muy complicada y aún no tiene un carácter definitivo.

Se acostumbra a dividirlas en aves *sin quilla,* las *Ratitas* (*corredoras*), a las que pertenecen los *avestruces* de Africa, América del Sur y Australia y los *Kiwis;* y aves *con quilla,* las *carinatas,* que agrupan la mayoría de las especies. El origen de las aves a partir de los reptiles es indudable: lo que no ha sido aún resuelto es de qué reptiles proceden. Los más próximos a ellos son los *Pseudotsuga.*

Clase 6ª Mamíferos (Mammalia).

Los *mamíferos* constituyen la clase más elevada de los vertebrados. Características suyas son el gran desarrollo de su *sistema nervioso central,* la *elevada temperatura del cuerpo,* cubierto por un *sistema piloso;* las madres llevan las *crías en su cuerpo* y las *alimentan con leche.* Todos estos rasgos les dieron el triunfo en la lucha con los reptiles; les permitieron adaptarse a los medios de vida más variados y convertirse en un grupo, cada vez más numeroso, de animales superiores.

Además de las características enumeradas, los mamíferos poseen una serie de cualidades progresivas. Hay, sin embargo, un reducido grupo de mamíferos primitivos que se distinguen por el *desarrollo bastante reducido de las glándulas mamarias, por tener cloaca y poner huevos,* ricos en deutoplasma; estos rasgos los aproximan a los reptiles. Constituyen la subclase de los *Prototerios, Ornitodelfos o Monotremas* (Prototheria) (figura 297), a la que pertenecen el ornitorrinco (*Ornithorhynchus*) y el equidna (*Echidna*), que viven en Australia y poseen los señalados rasgos de organización inferior (la temperatura de su cuerpo es también bastante baja y oscila entre 26° y 34°).

Otra subclase es la de los *marsupiales* (Metatheria) (fig. 298); las hembras llevan las crías en una bolsa marsupial o marsupium, que poseen en el abdomen. A consecuencia de la falta de un contacto verdadero del embrión con el cuerpo de la madre, los pequeñuelos nacen en un estado de desarrollo poco avanzado. Las crías del *canguro gigante*, que mide cerca de 1 m., tienen al nacer el tamaño de una nuez. Los marsupiales están extendidos por Australia y América del Sur. Además del canguro, existe el *tilacino cebrado*, o lobo marsupial, el *Koala* u oso marsupial, la *ardilla volante*, etc.

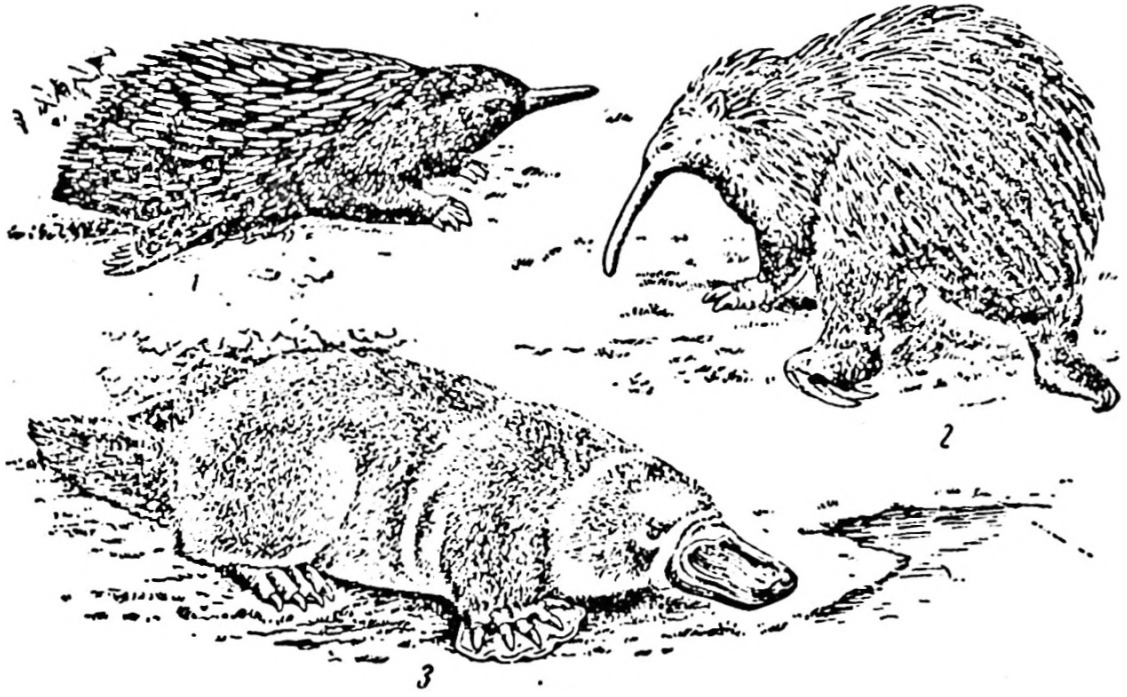


FIG. 297. 1, equidna; 2, zagloso o procquidna; 3, ornitorrinco.

Los restantes mamíferos (la inmensa mayoría) constituyen la subclase de los *monodelfos, placentarios o euterios* (Eutheria —*fieras superiores*). Su diferencia fundamental consiste en que el embrión se desarrolla manteniéndose unido a la madre a través de un órgano especial: la *placenta* (fig. 299).

Los mamíferos habitan lugares en que reinan los más diversos ambientes vitales. Aparte de las especies terrestres, las hay voladoras, semiacuáticas, acuáticas e hipogeas. En la actualidad se conocen cerca de 8,000 especies de mamíferos.

La forma del cuerpo de los mamíferos es muy variable. Lo más típico es el *tronco alargado*, que reposa a bastante altura sobre *cuatro extremidades pentadáctilas*, con el *cuello* bien definido y la *cabeza* de proporciones normales. De esta forma, que es la principal, y está adaptada a la marcha, se apartan notablemente los *quirópteros* que están adaptados para el vuelo, y los *pinnípedos*, que viven en el agua.

Los tegumentos de los mamíferos se caracterizan por una serie de rasgos. La piel está constituída, como en todos los vertebrados, por una *epi-*

dermis estratificada y por la *dermis* (fig. 300). La epidermis tiene espesor variable, no sólo en las diferentes especies de animales, sino en las distintas partes del cuerpo de un mismo animal. El mayor grosor lo alcanza en los lugares donde el roce es muy grande. De su superficie se desprenden constantemente en forma de "caspa" las células que se han queratinizado definitivamente; el desgaste de la capa córnea de la epidermis se

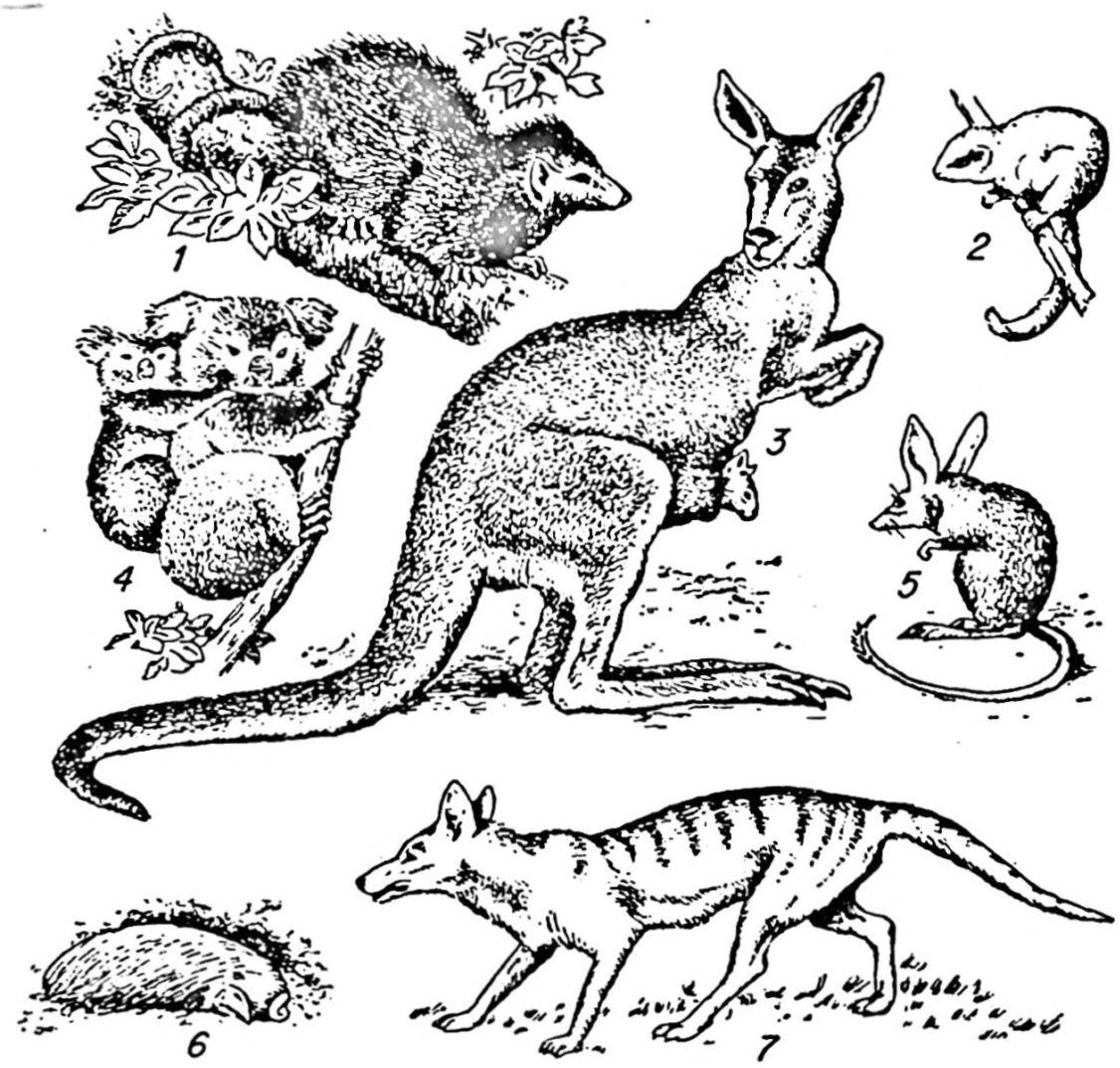


FIG. 298. Diferentes especies de mamíferos marsupiales: 1, zarigüeya; 2, ardilla marsupial enana; 3, canguro gigante; 4, koala; 5, perameles; 6, topo marsupial; 7, tilacino cebrado (lobo marsupial).

compensa con su crecimiento por división de las células que forman la capa de Malpigio. La verdadera piel, la dermis, está constituída por un tejido conjuntivo de gruesas fibras, debajo del cual se halla el *panículo adiposo,* tejido conjuntivo subcutáneo, menos compacto. El panículo adiposo acumula, en mayor o menor cantidad, grasa. En algunos casos (*ballenas, focas,* etc.) es ahí donde se forma una consistente capa grasa, que protege contra el frío el cuerpo del animal. Entre las formaciones epidérmicas, la más característica es el *pelo;* las escamas, tan típicas en los reptiles, desempeñan en los mamíferos un papel secundario y son poco frecuentes.

Los pelos son producciones córneas, de estructura bastante complicada. La mayoría de los mamíferos tienen todo el cuerpo cubierto por pelos lanosos espesos (animales de piel); los pelos pueden transformarse en cerdas (puercos) e incluso en púas (erizos). Todos los mamíferos tienen en estado embrionario todo el cuerpo cubierto enteramente de pelo. En el hombre ésto sucede en el quinto y sexto mes de vida uterina, época en que el pelo cubre incluso la cara. En estado adulto, el cuerpo del hombre, excepto las palmas de las manos y las plantas de los pies, está todo él cubierto de pelo, pero muy reducido.

El papel fisiológico del pelo —proteger al cuerpo contra las pérdidas de calor— lo desempeñan a veces el mayor grosor de la epidermis o la capa subcutánea de grasa. El pelo se cambia periódicamente (muda). Aparte de los pelos, la piel de los mamíferos produce con frecuencia otras formaciones: *uñas, garras, pezuñas* y *cuernos.*

Los mamíferos se distinguen de los reptiles y las aves por su piel provista de numerosas *glándulas,* rasgo que les aproxima a los anfibios. Las glándulas suelen ser de dos tipos principales: *sebáceas* y *sudoríparas.*

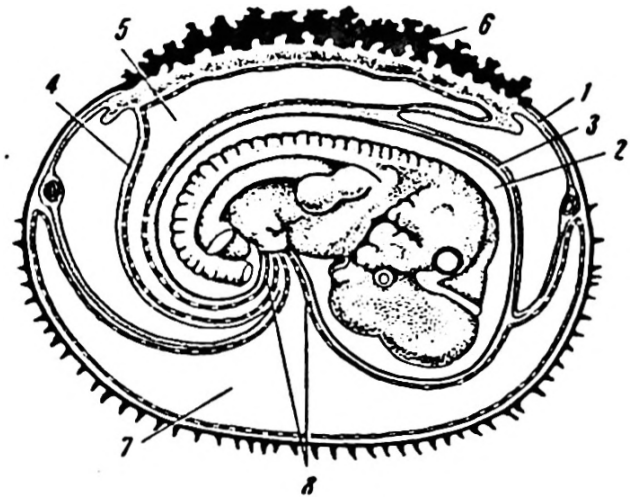


Fig. 299. Embrión del conejo: 1, membrana serosa; 2, cavidad amniótica; 3, amnios; 4, alantoides; 5, cavidad alantoidea; 6, parte engrosada de la serosa, de la que se forma la placenta; 7, vesícula vitelina; 8, cordón umbilical.

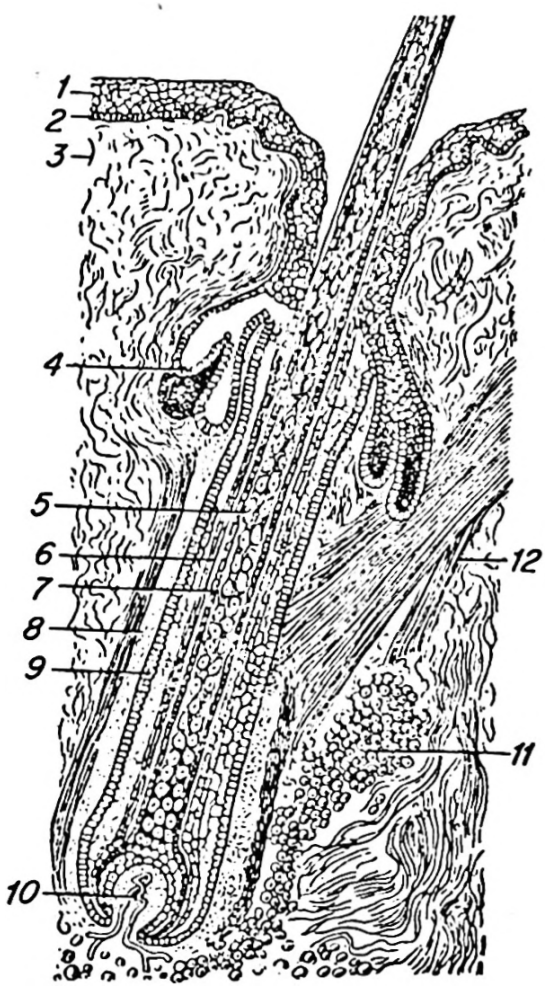


Fig. 300. Sección longitudinal de un pelo: 1, capa córnea de la epidermis; 2, capa de Malpigio; 3, dermis; 4, glándula sebácea; 5, médula del pelo; 6, capa cortical; 7, membrana vítrea; 8, vaina externa de la raíz; 9, matriz del pelo; 10, papila pilosa con los vasos; 11, tejido adiposo; 12, músculo erector.

Las primeras segregan una sustancia grasienta, que sirve para impregnar de grasa la piel y el pelo. Las segundas producen *sudor* (constituído en lo fundamental por agua, que lleva en disolución urea y sal), y con ello desempeñan en parte una función excretora. Sin embargo, la función prin-

cipal de las glándulas sudoríparas se relaciona con la *regulación térmica*: la evaporación del sudor aumenta con el calor, enfriándose el cuerpo. La mayoría de mamíferos posee glándulas sudoríparas, pero con diferente grado de desarrollo.

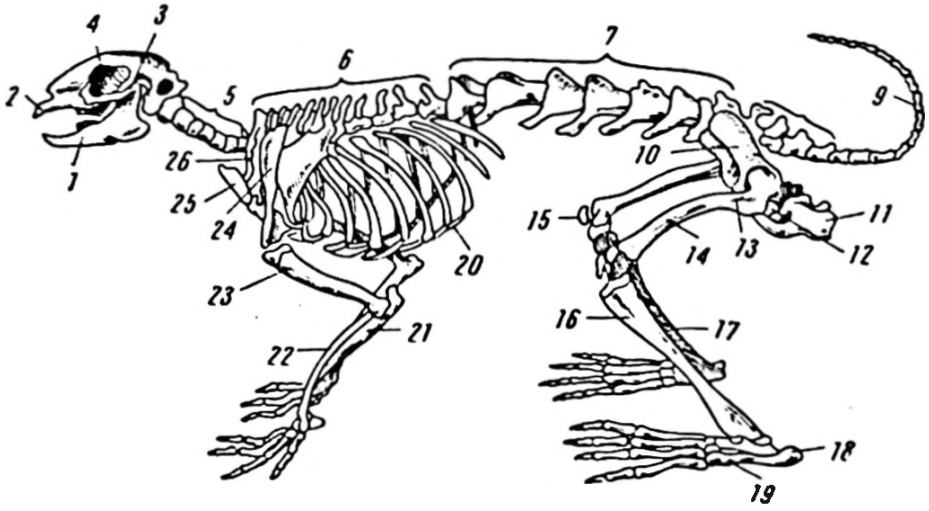


FIG. 301. Esqueleto del conejo: 1, mandíbula inferior; 2, mandíbula superior; 3, yugal; 4, parte superior de la cuenca del ojo; 5, vértebras cervicales; 6, vértebras dorsales; 7, vértebras lumbares; 8, vértebras sacras; 9, vértebras caudales; 10, ilión; 11, isquión; 12, foramen obturador; 13, pubis; 14, fémur; 15, rótula; 16-17, tibia; 18, huesos metatarsianos; 19, astrágalo y calcáneo; 20, costillas; 21, cúbito; 22, radio; 23, húmero; 24, omoplato; 25, esternón; 26, clavícula.

Una modificación de tales glándulas sudoríparas son las *mamarias*, tan características de los mamíferos. También son modificación de las glándulas sudoríparas o sebáceas las *odoríferas*, que poseen numerosos mamíferos (por ejemplo la marta, la mofeta, el castor, etc.).

El esqueleto de los mamíferos (fig. 301), se caracteriza por su columna vertebral dividida de modo patente en secciones: *cervical, torácica* o *dorsal, lumbar, sacra* o *caudal*, por la presencia de vértebras de caras articulares planas (forma *platicélica*) con discos cartilaginosos (*meniscos*) entre las vértebras y por el número constante (7) de vértebras cervicales. Las dos primeras son el *atlas* y el *axis*, lo que es típico, en general, de los amniotas. El atlas tiene en su parte anterior *dos caras* articulares, lo mismo que sucede en los batracios.

El cráneo ofrece una serie de rasgos específicos. Es necesario señalar la tendencia de los huesos del cráneo a unirse formando complejos óseos y, además, la unión de estos complejos mediante suturas fijas; esto se realiza muy tarde, mucho tiempo después del nacimiento, y se debe a las enormes dimensiones del encéfalo, que, gracias a la sutura tardía de los huesos del cráneo, puede crecer durante largo tiempo sin encontrar obstáculos.

El esqueleto de las extremidades pares presenta en la mayoría de los mamíferos una estructura poco especializada y se aproxima al esquema del apéndice pentadáctilo típico; las modificaciones a que se ve sometido

se deben a su adaptación a diferentes formas de movimiento (carrera, salto, vuelo y natación).

El sistema muscular de los mamíferos alcanza extraordinario desarrollo y complejidad, pues cuenta con varios centenares de músculos especializados. Merece especial atención el *diafragma*, músculo transversal, que separa el abdomen de la cavidad torácica. El diafragma, propio únicamente los mamíferos (rudimentos suyos aparecen ya en los reptiles), desempeña un importante papel en la respiración. Alcanzan un gran desarrollo en los mamíferos los *músculos subcutáneos*. En los monos, y sobre todo en el hombre, estos músculos han sufrido una segunda reducción en todo el cuerpo excepto la cara, donde se han desarrollado mucho, dando lugar a la *musculatura mímica*.

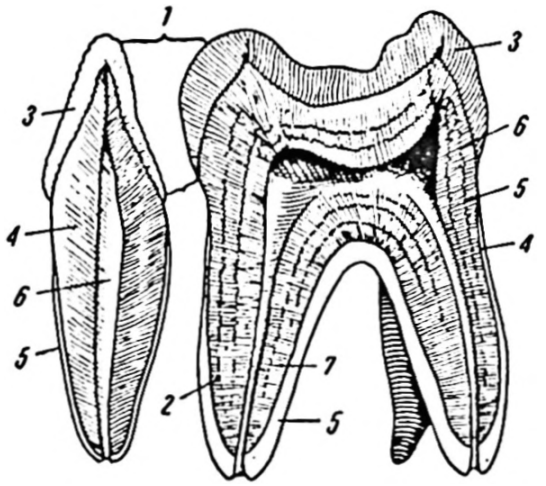


FIG. 302. Sección longitudinal de un incisivo y de un molar humanos: 1, corona; 2, raíz; 3, esmalte; 4, dentina; 5, cemento; 6, cavidad dental; 7, canal.

En el aparato digestivo es digna de ser tenida en cuenta la diferenciación de los dientes, que constituyen un sistema *heterodonto* (fig. 302). Hay que distinguir cuatro clases de dientes: los anteriores o *incisivos*, por lo general de forma acincelada; los *colmillos* o *caninos*, que son cónicos; los *premolares* y los *molares*, con prominencias, crestas o tubérculos en la corona. Los primeros sirven para morder, los segundos, para apoderarse de la presa, retenerla y matarla y, finalmente, los últimos son los que trituran y desmenuzan la comida. El número de dientes, su forma y funciones se diferencian notablemente en los distintos grupos de mamíferos, pero lo característico es que, al contrario de lo que sucede con los dientes de los demás animales, están diferenciados y sirven no sólo para retener el alimento, sino también para desmenuzarlo. Los dientes están implantados en *alvéolos* sobre las mandíbulas; de ordinario, en el transcurso de la vida se cambian.

Hoy día no cabe la menor duda de que existe una relación filogenética entre los dientes de los vertebrados superiores y las escamas placoideas de los peces condrictios.

Otra característica del sistema digestivo (fig. 303) es la complicada diferenciación que ofrece el *estómago* de algunos mamíferos. El intestino consta de varias secciones bien diferenciadas: el *duodeno*, el intestino *delgado*, el *ciego* con el *apéndice vermiforme*, que alcanza en los herbívoros dimensiones enormes, el intestino *grueso* y el *recto*.

Los órganos respiratorios de los mamíferos presentan una configuración bastante uniforme y se caracterizan por la complicación de los pulmones, de estructura *alveolar*, y de las vías respiratorias. La *tráquea* se divide en *bronquios*, que dentro del pulmón se ramifican en diferentes conductos de distinto diámetro, hasta llegar a los más pequeños, los *bronquiolos*, terminados en vesículas *alveolares*, que es donde se verifica el intercambio gaseoso. La perfección de los órganos respiratorios asegura un intenso intercambio gaseoso, y esto constituye una de las premisas más

importantes para que la temperatura del cuerpo sea elevada y constante (animales homotermos).

El sistema circulatorio (fig. 304) se asemeja al de las aves. El sistema

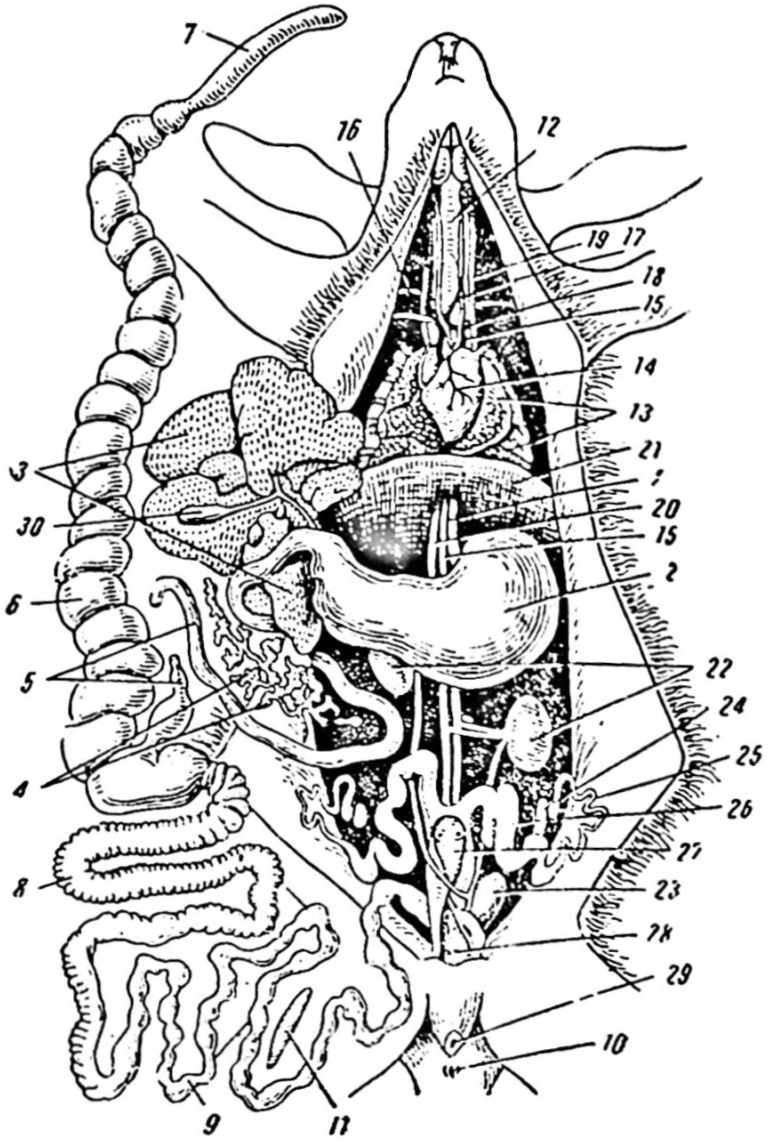


FIG. 303. Anatomía general del conejo: 1, esófago; 2, estómago; 3, hígado; 4, páncreas; 5, intestino delgado; 6, ciego intestinal; 7, apéndice vermiforme; 8, intestino grueso; 9, recto; 10, ano; 11, bazo; 12, tráquea; 13, pulmones; 14, corazón; 15, aorta; 16, arteria subclavia derecha; 17, arteria carótida izquierda; 18, arteria subclavia izquierda; 19, vena yugular externa; 20, vena cava posterior; 21, diafragma; 22, riñones; 23, vejiga urinaria; 24, ovario; 25, trompa de Falopio; 26, útero; 27, vagina, seno urogenital; 29, orificio urogenital; 30, vesícula biliar.

arterial se diferencia principalmente en que el *arco aórtico es izquierdo,* en lugar de derecho. Es interesante subrayar que a veces, a consecuencia de algunos defectos del desarrollo embrionario, puede conservarse en los

mamíferos la relación entre la arteria pulmonar y el arco aórtico. Este contacto se realiza a través del *orificio de Botal,* que no es más que un resto de la porción lateral del sexto arco arterial embrionario. El sistema venoso presenta la total atrofia del sistema porta-renal y la disposición asimétrica de los troncos venosos más importantes. En la inmensa mayoría de los mamíferos, la *cava anterior izquierda* se une por medio de la *innominada* con la *cava anterior derecha,* que es la que desemboca en la aurícula derecha. Es también característica la *presencia de restos de las venas cardinales,* que son venas impares. En la mayoría de las especies sólo la vena impar derecha se abre directamente en la vena cava anterior, mientras que la impar izquierda pierde su conexión con la cava y, a través de la vena transversa, va a parar a la vena impar. Los glóbulos rojos de los mamíferos carecen de núcleo cuando se hallan totalmente formados.

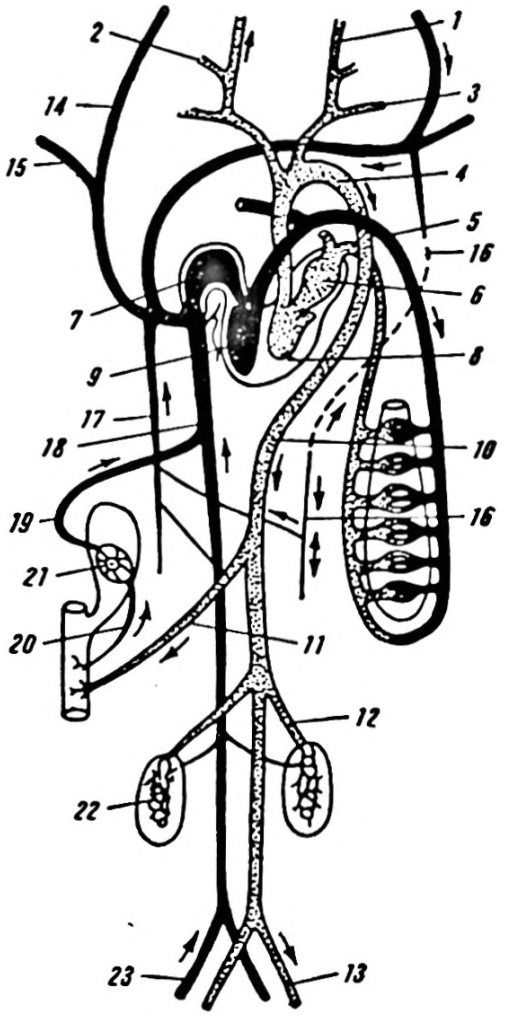


FIG. 304. Esquema del sistema circulatorio de los mamíferos: 1, arteria carótida externa; 2, arteria carótida interna; 3, arteria subclavia; 4, cayado o arco aórtico; 5, arteria pulmonar; 6, aurícula izquierda; 7, aurícula derecha; 8, ventrículo izquierdo; 9, vena cardinal posterior izquierda; 17, vena cardinal posterior derecha; 18, vena cava inferior; 19, vena hepática; 20, vena porta-hepática; 21, hígado; 23, riñones, en los que falta el sistema porta; 23, vena ilíaca. La zona punteada es el vaso que puede faltarles a algunos representantes de los mamíferos (o por lo menos estar muy reducido).

El encéfalo (fig. 305) es de gran tamaño; esto se debe, principalmente, al aumento del volumen de los hemisferios cerebrales y del cerebelo. Aumenta sobre todo la *corteza del telencéfalo.* En la corteza se localizan los centros de la actividad nerviosa superior, es éste el órgano de la actividad de los reflejos condicionados, que regula las más sutiles adaptaciones del animal a los cambios del medio. En la mayoría de las especies la corteza cerebral se halla recorrida por numerosos *surcos y circunvoluciones,* que aumentan su superficie. Cuanto más elevada es la organización del animal, más desarrollada está la red formada por tales surcos y circunvoluciones, alcanzando el máximo en el hombre. El mesencéfalo está dividido en cuatro lóbulos, los tubérculos cuadrigéminos, que aumentan su superficie. Hay 12 pares de nervios craneanos. El órgano del oído posee en los mamíferos una estructura compleja. Consta de tres partes: además del oído *interno* y *medio,* característico de los restantes mamíferos terrestres, aparece el *oído externo,* o conducto auditivo externo, cuyo extremo interior está cubierto por la

membrana del tímpano. Además en el oído medio hay tres huesecillos: el *martillo, el yunque* y el *estribo;* las vibraciones del tímpano se transmiten con mayor perfección al oído interno. Alcanza también un extraordinario desarrollo el *caracol,* dentro del cual se encuentra el complicadísimo *órgano de Corti,* que realiza la delicada diferenciación del tono o altura del sonido. Por último, la mayoría de los mamíferos posee un *pabellón de la oreja* cartilaginoso, que sirve para recoger las ondas acústicas y reforzar la audición. También alcanza el máximo desarrollo el olfato, que en muchas especies es el órgano fundamental: de él se valen los animales para orientarse en el espacio, encontrar comida, escapar de sus enemigos, etc.

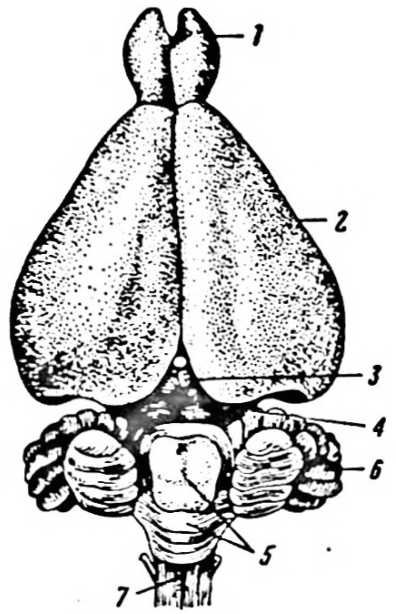


FIG. 305. Encéfalo del conejo, visto por la cara dorsal: 1, bulbo olfatorio; 2, hemisferios cerebrales; 3, epífisis; 4, cerebro medio (tubérculos cuadrigéminos); 5 y 6, cerebelo; 7, médula espinal.

El sentido de la vista no tiene en los mamíferos caracteres específicos y está relativamente poco desarrollado. Como es natural, la vista es más o menos aguda según las condiciones de vida. El mayor desarrollo se alcanza en los *primates* y los *solípedos* de gran tamaño.

El órgano del gusto, en forma de *papilas epiteliales,* radica en la lengua. Los del tacto están localizados en la piel y, probablemente, en los músculos; perciben las sensaciones táctiles (de contacto) térmicas, dolorosas, etc.

El aparato excretor está representado, como en otros amniotas, por riñones *metanefríticos.* El riñón primordial es un órgano embrionario, y solamente funciona en los monotremas y los marsupiales cuando son jóvenes, reduciéndose después. Los mamíferos poseen, lo mismo que los reptiles, *vejiga urinaria.*

Las glándulas genitales son *pares.* En los machos, los testículos, en las hembras, los ovarios. Los mamíferos se caracterizan, en general, por el *desarrollo intrauterino,* de acuerdo con lo cual, en la parte ancha de los oviductos (homólogos de los canales de Müller) se forma el *útero.* Este es un órgano musculoso hueco, en el que se desarrolla el embrión. En las primeras fases de su ontogenia, el embrión se introduce en la mucosa del útero, creciendo a su alrededor las envolturas embrionarias. El alantoides, después de aumentar mucho, se funde con la capa serosa y origina el *corion.* Este produce más *vellosidades,* que entran en contacto con las dilatadas paredes del útero, dando lugar a la formación de la *placenta,* órgano esponjoso, rico en vasos sanguíneos, a través del cual se realiza el intercambio gaseoso del embrión, su alimentación y la expulsión de los productos de desasimilación. La nutrición se realiza a expensas de los plasmas de la madre por ósmosis, a través de las paredes de los vasos sanguíneos. El grado de unión entre el organismo materno y el embrión varía en los diferentes mamíferos.

Los mamíferos son, pues, animales verdaderamente *vivíparos.* Parecen una excepción los monotremas, que ponen huevos, pero, incluso en el

caso de éstos, el huevo, mientras se halla en el útero, se nutre a expensas de sustancias de la madre, que se infiltran a través de la envoltura porosa.

Como ya señalamos anteriormente, los mamíferos se dividen en tres

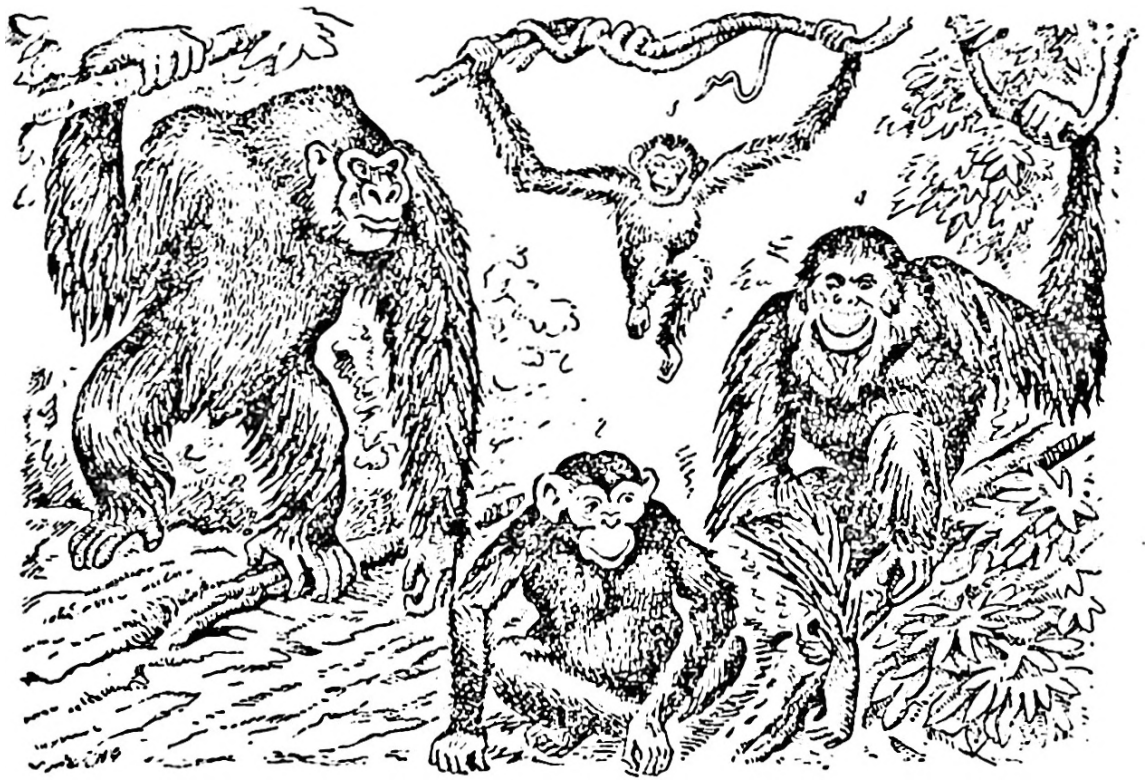


Fig. 306. Especies de monos antropomorfos y gibones: 1, gorila; 2, chimpancé; 3, gibón; 4, orangután.

subclases: *monotremas*, *marsupiales* y *placentarios*. La última subclase comprende la inmensa mayoría de los mamíferos superiores, que son muy variados, a causa de sus condiciones de existencia; en la actualidad se admite la existencia de 17 órdenes. Ofrece especial interés el de los *primates* (Primates), que son los que poseen el encéfalo desarrollado con mayor perfección. Pertenecen a los primates los monos *platirrinos*, del Nuevo Mundo, y los *catarrinos*, del Antiguo Mundo (fig. 306). Dentro de los últimos, la familia de los *homínidos* (Hominidae) está representada por una especie que vive actualmente, el *hombre* (*Homo sapiens*).

Todos los materiales de que dispone la ciencia confirman que los antecesores de los mamíferos fueron los reptiles primitivos. Los reptiles actuales se diferencian profundamente de los mamíferos en muchos de sus rasgos: carecen de glándulas cutáneas, tan características de los mamíferos, poseen dos arcos aórticos (los mamíferos sólo tienen el izquierdo), un cóndilo occipital (en los mamíferos es doble), etc. Pero un extinguido grupo de reptiles, los *teriodontos* (Theriodontia), poseía ciertos rasgos primitivos, como, por ejemplo, vértebras anficélicas, lo que les acercaba a los cotilosauros, aunque, al mismo tiempo, presentaban importantes semejanzas con los mamíferos. Los marsupiales y placentarios parecen constituir ramas independientes, paralelas en cierto modo, dentro de la evolución de los mamíferos.

ALGUNOS DATOS ACERCA DE LA DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS ANIMALES

Cada especie animal tiene un *área* (región de distribución geográfica), en la que ocupa únicamente *estaciones* (lugares donde se dan las condiciones de vida necesarias) propias. Por ejemplo, la alondra, que tiene un área de distribución gigantesca (casi toda Europa, Asia Central, Africa del Norte, etc.), ocupa dentro de esta área únicamente las estepas y los prados secos.

Cuando las condiciones son favorables, la especie, al aumentar de número, se disemina. Esta diseminación puede producirse, bien ampliando paulatinamente el área, o a saltos (si en el camino se presentan obstáculos naturales). En el último caso, el éxito de la diseminación depende de la capacidad de cada forma concreta para superar estos obstáculos. Los medios de que disponen los diferentes organismos para distribuirse no son iguales. Su carácter puede ser *activo* (movimientos que realizan los propios animales) y *pasivo* (desplazamiento por el viento, el agua, con la participación humana, etc.). No cabe duda de que son las aves los animales que disponen de los medios más perfectos para diseminarse; mas los ani-

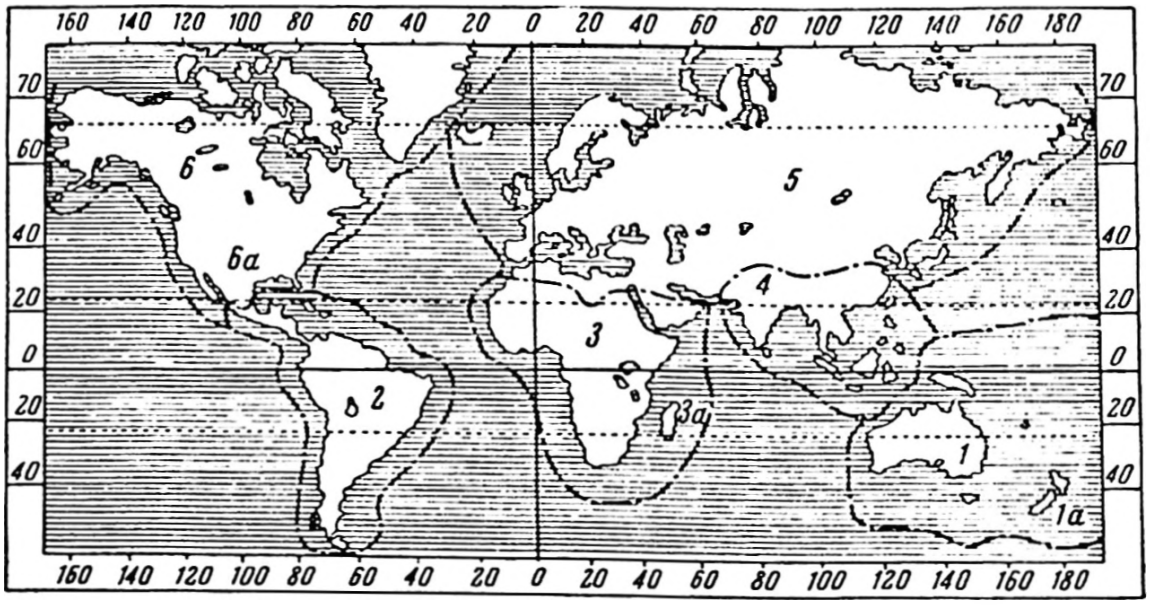


Fig. 307. Mapa de las regiones zoogeográficas: 1, región australiana; 1*a*, región de Nueva Zelanda; 2, región neotropical; 3, región etiópica; 3*a*, subregión malgache; 4, región oriental o indomalaya; 5, región paleártica; 6, región neártica, 6*a*, subregión de Sonora.

males relativamente lentos poseen dispositivos que les permiten superar los obstáculos naturales. Por ejemplo, los gecones (lagartos) adhieren sus huevos a los trozos de madera flotantes, que, de esta forma, pueden ser trasladados a enormes distancias. Los embriones de especies propias del agua se adhieren a las patas de las aves acuáticas, que de este modo los trasladan a otros lugares, situados incluso a grandes distancias. La dise-

minación está limitada por las condiciones climatológicas, la falta de la alimentación correspondiente y toda una serie de relaciones con las otras especies que se encuentran en el camino. La ausencia de un huésped inter-

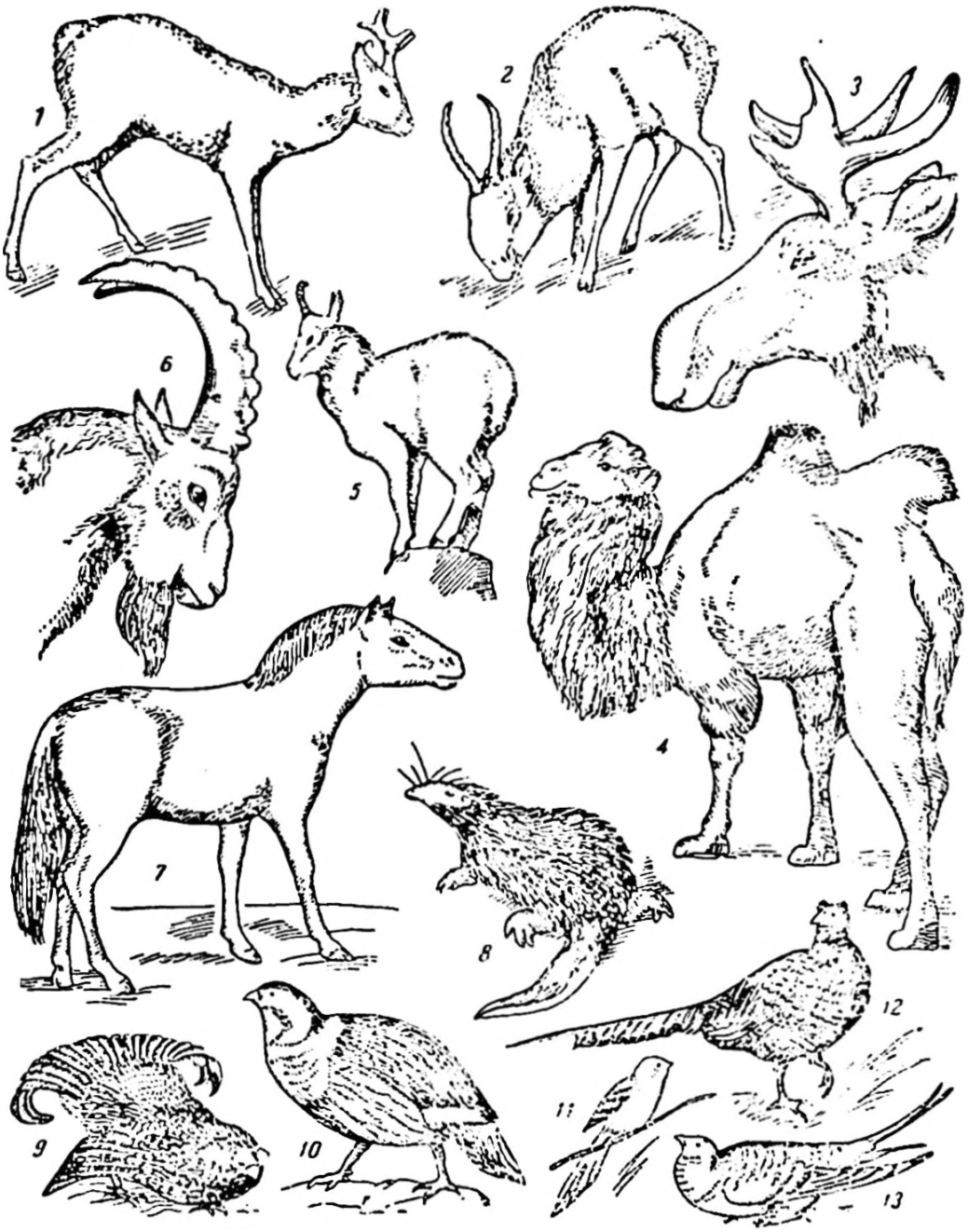


FIG. 308. Representantes característicos de la fauna de la región paleártica: 1, corzo; 2, antílope saifa; 3, alce; 4, camello bactriano; 5, gamuza; 6, cabra montés de Siberia; 7, caballo salvaje de Przhevalski; 8, desmán; 9, urogallo menor; 10, perdiz de sierra; 11, carbonero; 12, faisán del Cáucaso; 13, polla del desierto.

medio representa un obstáculo para la propagación de las formas parasitarias.

Las especies que tienen una amplia área de extensión dan lugar a las *razas geográficas,* por ejemplo, la ardilla común y el karagán; tienen

su origen en la adaptación de la especie a condiciones geográficas determinadas.

El área de propagación de la especie puede ser *continua* y *discontinua*. Como ejemplo de área discontinua tenemos la de algunos peces (esturión,

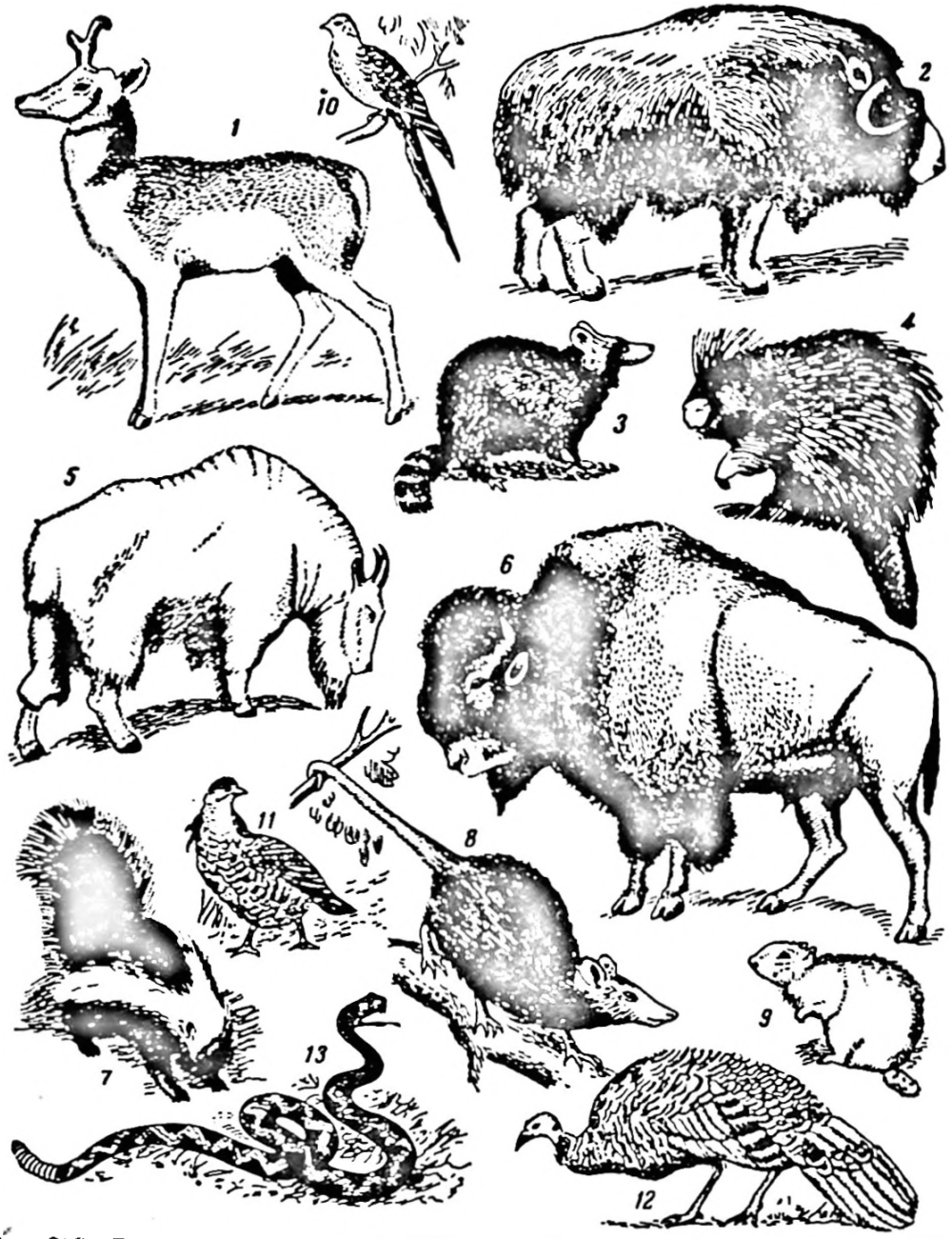


FIG. 309. Representantes característicos de la fauna de la región neártica: 1. antilocapra americana; 2. toro almizclado; 3. castor; 4. *Hutia caravali;* 5. *Oreamos americanus;* 6. bisonte; 7. mofeta; 8. *Opossum;* 9. perrillo de las praderas; 10. *Ectopistes migratorius;* 11. *Lyrurus mlokosiewiczi;* 12. *Agriocharis ocellata;* 13. serpiente de cascabel.

Huso dauricus, carpa) y la de la cigüeña. Estas formas viven en Europa y Siberia Oriental, pero no existen en Siberia Occidental o Central. La discontinuidad de su área se debe, al parecer, a la influencia del período glaciar. Las interrupciones del área aparecieron al extinguirse la especie en determinados territorios, no permitiendo las condiciones actuales que

sus individuos vuelvan a habitar esa región. La discontinuidad de las áreas se relaciona con la historia de la Tierra y permite juzgar acerca de los cambios sucedidos en su superficie. Por ejemplo, los peces dipnoos existen en tres continentes (Africa, América y Australia), lo que demuestra la gran antigüedad de su separación. Por el contrario, la presencia

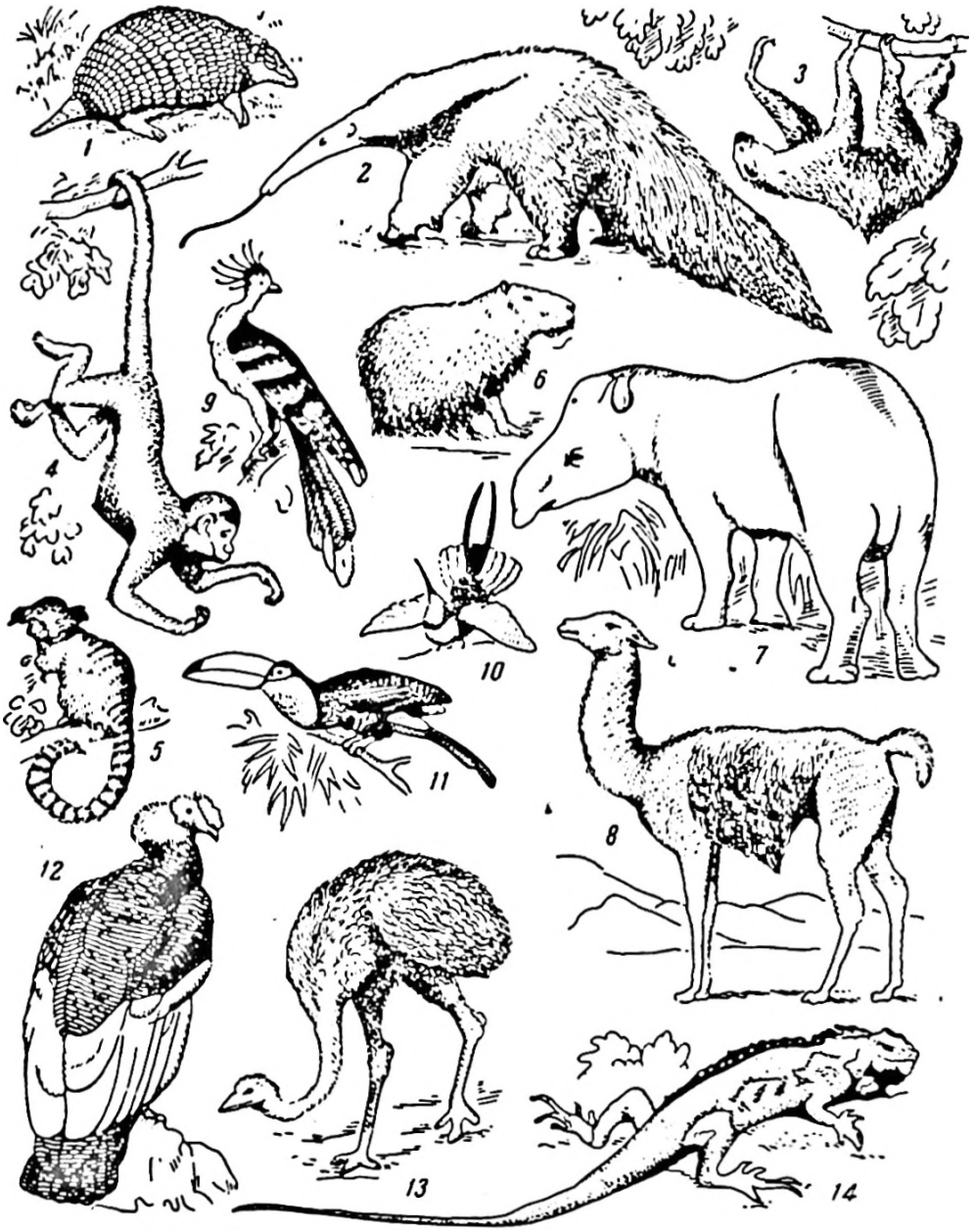


Fig. 310. Representantes característicos de la fauna de la región neotropical: 1, armadillo; 2, oso hormiguero; 3, perezoso; 4, mono capuchino, 5, titi; 9, puerco de río; 7, tapir; 8, guanaco; 9, hoazín; 10, colibrí; 11, tucán; 12, cóndor de los Andes; 13, ñandú; 14, iguana.

en los mares Blanco y Báltico de representantes de una fauna geológicamente joven, como son las vacas marinas, es prueba de su separación no muy lejana. En la fauna de cada país hay que distinguir los habitantes *autóctonos*, es decir, los originarios de ese país, y los *inmigrantes*, que llegaron de otros lugares.

Tanto los autóctonos como los inmigrantes pueden convertirse en *endémicos*, es decir, en formas que no existen en ninguna otra región del mundo. Un ejemplo de inmigrantes endémicos lo constituyen los caballos

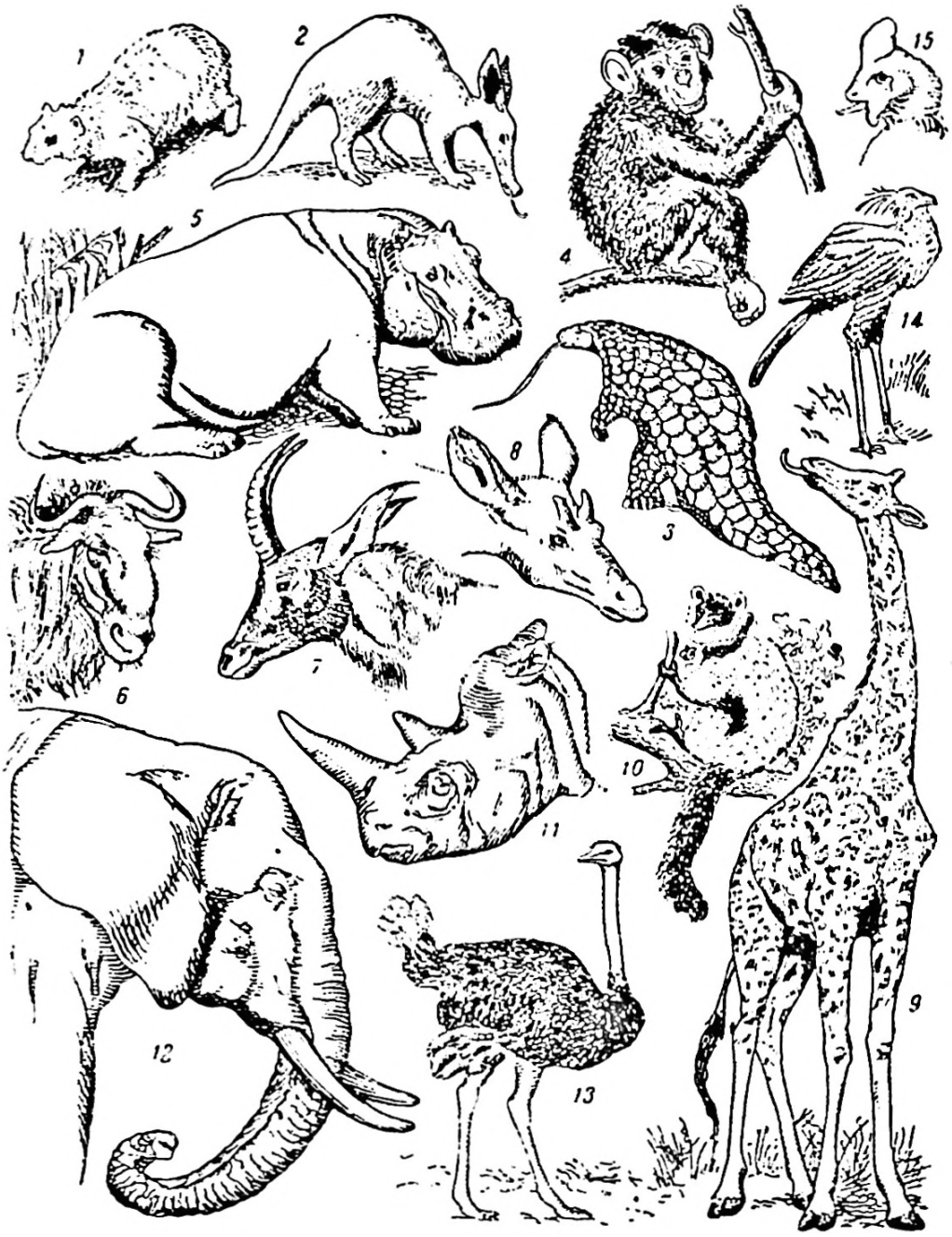


FIG. 311. Representantes característicos de la fauna de la región etiópica: 1, damán; 2, cerdo hormiguero; 3, pangolín; 4, chimpancé; 5, hipopótamo; 6, gnú; 7, *Gazella gutturosa;* 8, okapi; 9, jirafa; 10, *Lemur varius;* 11, rinoceronte bicornio; 12, elefante africano; 13, avestruz del Sahara; 14, serpentario; 15, pintada común.

de Asia y Africa, que procedían de América (país en el que después desaparecieron).

Los cambios históricos de la fauna se conforman a los cambios (climatológicos y geográficos) que tienen lugar en la superficie terrestre.

Si dos faunas, antes separadas por barreras naturales se ponen en contacto, al modificarse las condiciones se producirán entre ellas complicadas relaciones, uno de cuyos aspectos importantes será su mutua sustitu-

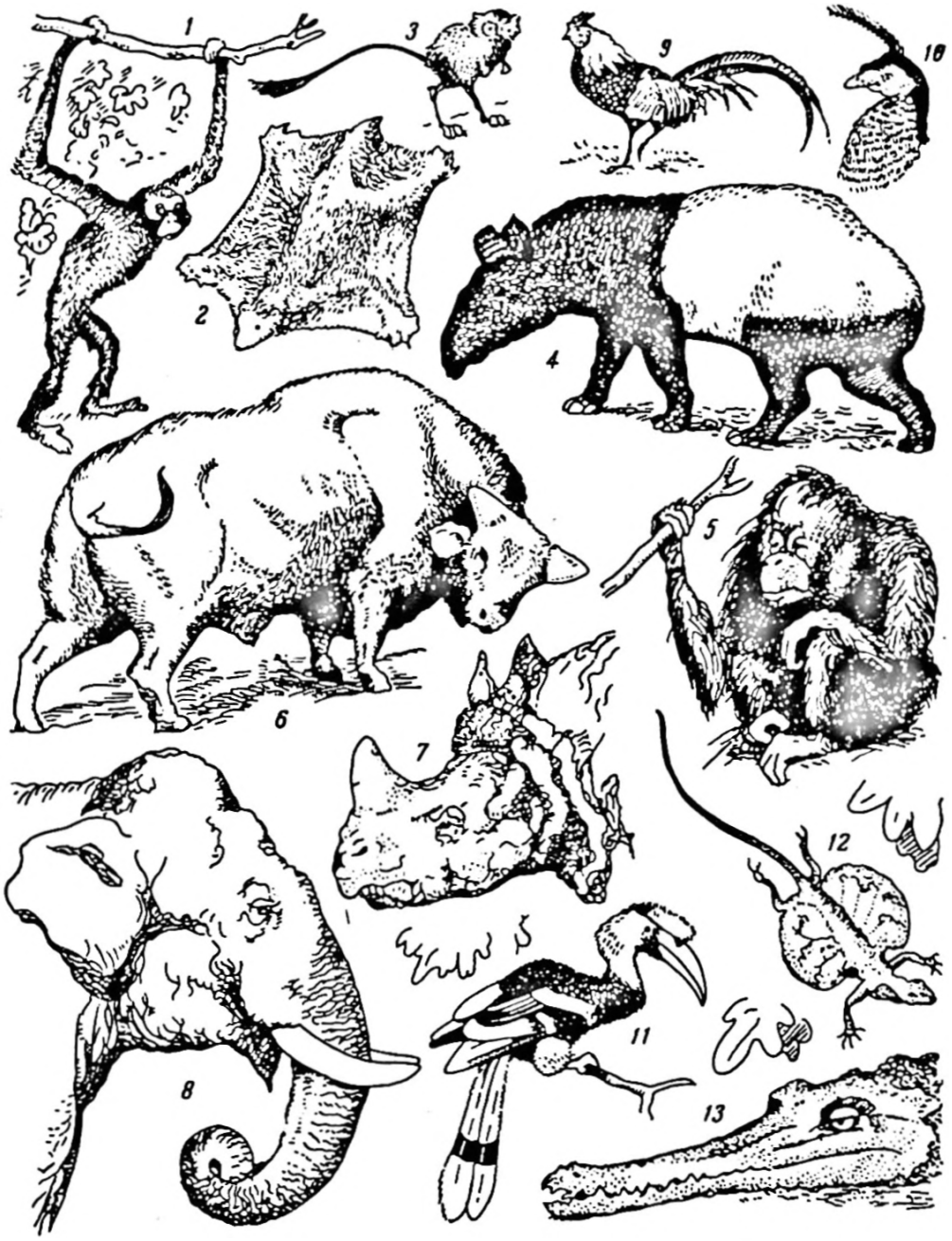


FIG. 312. Representantes característicos de la fauna de la región oriental o Indomalasia: 1, gibón; 2, lemurino; 3, tarsino; 4, *Tapir indicus;* 5, orangután; 6, buey gayal; 7, rinoceronte unicornio; 8, elefante asiático; 9, gallo salvaje; 10, pavo espicífero; 11, urraca del paraíso; 12, dragón; 13, gavial.

ción. En estos casos, es frecuente que una de las faunas desplace casi por completo a la otra; los elementos de la fauna antigua que se conservan, se *convierten* en semejantes casos en *relictos* (restos o residuos).

Por ejemplo, en los Alpes se han conservado una especie de liebre y la perdiz blanca como restos de la fauna glaciar.

La influencia del hombre sobre la fauna es múltiple. Algunas especies

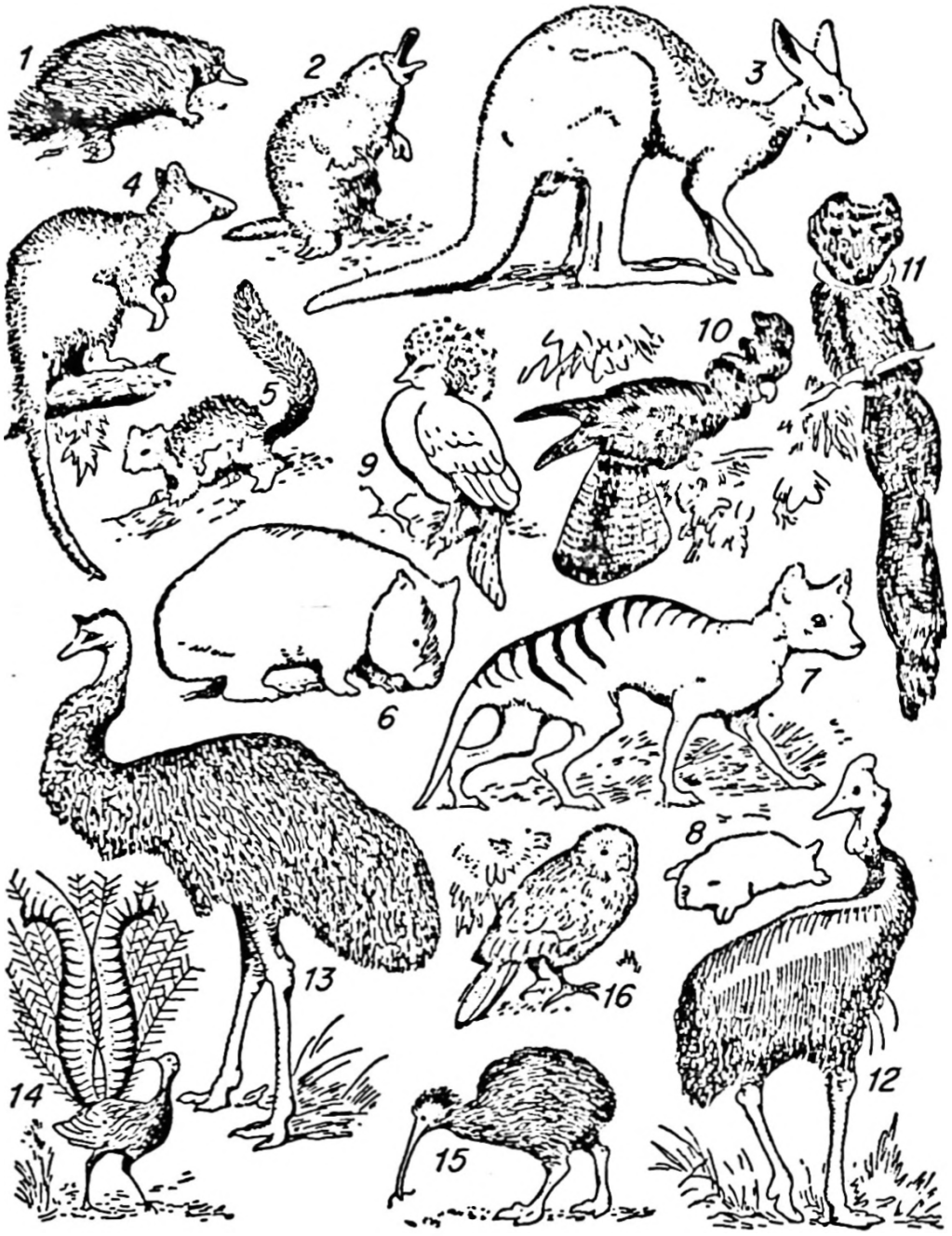


FIG. 313. Representantes característicos de la fauna de la región australiana: 1, equidna; 2, ornitorrinco; 3, canguro; 4, *Petrogale xanthopus;* 5, ardilla volante o asapanick; 6, *Phascolomys latifrons;* 7, tilacino cebrado o lobo marsupial; 8, marsupial-topo; 9, *Goura coronata;* 10, *Cacatua calypto-rhynchus;* 11, urraca del paraíso; 12, casuario; 13, emú; 14, ave lira; 15, Kiwi; 16, *Strigops habroptilus.*

de animales las lleva consigo el hombre accidentalmente (numerosos parásitos y animales dañinos). El hombre persigue a muchos animales que le causan perjuicios (carnívoros y parásitos) o los destruye con fines prác-

ticos. A esto se debe el total exterminio de un ave, la llamada Moa, *Aepyornis maximus*, etc. Los bisontes y los uros se han conservado únicamente en los parques nacionales. En la U. R. S. S., se llevan a cabo medidas para aclimatar animales de valor, a cuyo objeto se importan de otros países ondatras, nutrias, etc. En el Mar Caspio se ha introducido el gusano Nereis, con el fin de enriquecer los recursos alimenticios destinados a los peces de interés industrial, etc. La construcción de canales contribuye a salvar los obstáculos naturales que dificultan la expansión de los animales acuáticos.

Ofrece interés el estudio faunístico de territorios aislados: mares, ríos y lagos y tierra firme. En ellos es característica la gran cantidad de especies endémicas, siendo mayor su número cuanto más remoto es el aislamiento. Uno de los lagos más antiguos, el Baikal, tiene una fauna muy característica; la mitad de las especies que lo habitan son endémicas; lo son también todos los representantes de los turbelarios; de 36 especies de oligoquetos que viven en él, 31 son endémicos. El Baikal posee también una especie endémica de mamíferos, la foca del Baikal. En islas geológicamente tan antiguas como Madagascar y Nueva Zelanda abundan no ya las especies, sino los géneros y familias endémicas. Las islas oceánicas de origen volcánico (Santa Elena, Ascensión, etc.) tienen asimismo una fauna muy específica, con ausencia completa de mamíferos y batracios (a excepción de los que fueron llevados accidentalmente por el hombre). Las aves, los insectos y los moluscos constituyen la principal fauna de estos territorios.

Las actuales regiones zoogeográficas dividen el mundo en partes que no coinciden totalmente con la división geográfica. Las fronteras zoogeográficas no están siempre muy delimitadas, y en la mayoría de los casos aparecen unidas por zonas transitorias más o menos anchas.

Para definir las regiones zoogreográficas de la fauna terrestre se toma como base la distribución de los mamíferos (a propuesta de Huxley).

Se diferencian las siguientes zonas zoogeográficas de tierra firme: australiana, neotropical, etiópica, indomalaya u oriental, neártica y paleártica (ver el mapa correspondiente) (fig. 307).

La fauna de cada una de estas zonas apareció a lo largo de la historia en condiciones específicas. De todas, la de la paleártica es la más joven, y la de la zona australiana, la más antigua.

Señalemos algunos rasgos de semejanza y diferencia entre las faunas de las zonas citadas. Comparando la fauna de las zonas paleártica (fig. 308) y neártica (fig. 309), se descubre la presencia en ellas de gran cantidad de especies próximas (sobre todo en las partes septentrionales): el oso blanco, el zorro polar, el reno, etc. Al oso pardo europeo le corresponde el americano grizzly (*Ursus ferox*); al uro, el bisonte de América, etc. Al mismo tiempo, cada una de las zonas señaladas posee formas que sólo se presentan en ella, por ejemplo, el camello en la paleártica, el almizclero en la neártica, etc. La semejanza entre las faunas de ambas regiones se explica porque, en el período cuaternario, en lugar del Mar de Behering había tierra firme. La fauna de la zona neotropical (fig. 310) es muy específica; en ella encontramos representantes del orden de los desdentados (armadillos, perezosos, hormigueros, etc.). Estas formas son endémicas de América del Sur. Actualmente han penetrado parcialmente en la parte meridional de América del Norte. También son endémicos los monos de América del Sur y algunos roedores, aves, etc. Un carácter tan específico de la fauna se debe a que durante la era Terciaria, América del Sur estuvo separada de América del Norte y perdió hace mucho el contacto con otros continentes.

La fauna de la zona etiópica (fig. 311) tiene mucho de común con la de la zona oriental (indomalaya) y con la europea del Terciario. Los datos paleontológicos confirman que a principios del Terciario, Africa del Norte constituyó el centro de irradiación de una abundante fauna, que penetró en India y Europa y se extendió hacia el sur, dándose el caso que la fauna africana primitiva se viera desplazada a Madagascar. En la fauna etiópica son endémicos dos géneros de monos antropoides (el gorila y el chimpancé), numerosos monos inferiores, una serie de grupos de animales insectívoros, muchas fieras y, entre los ungulados, los hipopótamos, las jirafas, etc.

La base de la fauna de la zona oriental (fig. 312) la constituyen los elementos locales, con los que se fundieron también los animales primitivos autóctonos de Africa. En la parte septentrional penetraron también algunas formas paleárticas. De la zona Oriental son característicos el orangután, el gibón, los macacos, los tarsinos, los lemúridos, etc.

Ofrece especial interés la fauna de la zona australiana (fig. 313). Puede decirse que es un testimonio del pasado de los mamíferos. Forman parte le ella los *monotremas* y los *marsupiales*. Los monotremas (ornitorrinco y equidna), que representan a los mamíferos más primitivos, son ovíparos y endémicos de la zona Australiana. Los mamíferos australianos son residuos de un grupo que alcanzó en tiempos gran amplitud y fue luego eliminado a lo largo del proceso evolutivo de los mamíferos. Al parecer, Australia, en los comienzos del desarrollo de su fauna, estaba unida a otros continentes, separándose después, por lo que la evolución transcurrió allí en un aislamiento total. La fauna de Australia ofrece un raro ejemplo de proceso evolutivo retrasado en circunstancias de aislamiento con respecto a la fauna de un gran continente, proceso que se caracteriza por la variedad de condiciones de existencia y la complejidad de relaciones entre las especies.

Cuando se divide el océano en regiones zoogeográficas, se considera una zona litoral o nerítica, otra de alta mar (pelágica) y otra abisinal, o de grandse profundidades. Para cada una de ellas se acostumbra a adoptar una división zoogeográfica independiente.

CONCLUSIONES

1. Los organismos vegetales y animales han poblado diferentes medios ambientes: el agua, la tierra y el aire. Unos organismos sirven de medio ambiente a otros.

2. Los vegetales y los animales están dotados de diversos dispositivos necesarios para su vida, tanto respecto a las condiciones físico-químicas del medio exterior como en relación con otros organismos.

3. Los organismos vegetales y animales actuales constituyen, en el desarrollo del mundo orgánico, dos ramas que parecen proceder de formas flageladas primitivas. Ambas ramas presentan una complicación paulatina de su organización, desde las formas inferiores a las superiores.

4. El estudio del mundo orgánico, basándose en la clasificación natural, descubre las relaciones de parentesco existentes entre los organismos.

5. El parentesco sistemático entre los representantes de diferentes faunas viene impuesto por la existencia de condiciones geográficas, que determinan la posibilidad de contacto entre ellos o entre sus antecesores.

PARTE TERCERA

TEORIA DE LA EVOLUCION DEL MUNDO ORGANICO

CAPITULO X

PERIODO DE ACUMULACION DE CONOCIMIENTOS ACERCA DE LOS ORGANISMOS

Ideas sobre el mundo orgánico en la Antigüedad.

El hombre, inerme en los umbrales de su historia ante las poderosas fuerzas naturales, deificó los fenómenos de la naturaleza, tendió a la interpretación del mundo con un criterio religioso y mítico.

Los informes sobre el globo terráqueo, los animales que lo habitan, las plantas y el hombre mismo se iban acumulando paulatinamente de acuerdo con las actividades prácticas de la sociedad humana, principalmente con los avances de la agricultura y la medicina. Estos informes correspondían al nivel general de conocimientos de cada época y de las relaciones de producción.

Los descubrimientos arqueológicos confirman la existencia de culturas antiquísimas en los países del Antiguo Oriente (Egipto, Asiria, Babilonia, India y China). Su recuerdo se conserva en numerosas leyendas populares. Algunos datos pueden encontrarse también en las obras de los historiadores antiguos.

Estos países poseen una historia que se remonta a más de tres mil años antes de nuestra era. En China, alrededor de 500 años a. n. e. se realizaron grandes obras de regadío, se amplió la superficie de siembra, se comenzó a abonar las tierras, progresaron las industrias domésticas y el comercio. La tierra se convirtió en objeto de compraventa. Aparecieron nuevas formas de explotación (se implantó el impuesto en especie), con la consiguiente intensificación de la lucha de clases. Ello se reflejó en la aparición y pugna de las corrientes ideológicas (siglos VI y III a. n. e.).

Muchos filósofos de la Antigua China exponían puntos de vista materialistas acerca de la naturaleza y su desarrollo. El *Neitzin* es una de las obras de Medicina más antiguas.

Los egipcios conocieron la Anatomía al embalsamar los cadáveres; estaba desarrollada entre ellos la cirugía y tenían ciertas nociones de farmacología y farmacia.

Grecia heredó, en gran parte, el patrimonio cultural del Antiguo Oriente. Los filósofos griegos, en posesión de determinados conocimientos de las cosas, enunciaron y trataron de resolver algunos problemas generales, relativos al origen de la tierra y a los organismos que la pueblan. La solución dada variaba en las distintas tendencias filosóficas, de conformidad con sus concepciones teóricas, como un reflejo de las contradicciones existentes en las relaciones sociales de la Grecia esclavista.

Ya entonces existían concepciones del mundo evolucionistas y metafísi-

cas, si bien el nivel general de los conocimientos en que se basaban estas teorías era bastante escaso.

Una gran figura del materialismo antiguo es Heráclito, autor de la teoría del carácter eterno del movimiento. La vida del cosmos transcurre en una lucha permanente, en movimiento, en un choque de contradicciones. Cada instante niega el precedente y es negado por el instante que le sigue. La naturaleza viva y la no viva son, según Heráclito, un fluir de fenómenos que se modifican constantemente. Heráclito ve la primera materia en el fuego. El fuego es la causa del movimiento y él mismo se mueve; es lo que cambia y lo que se cambia. Todas las demás fuerzas son, en su opinión, transformaciones del fuego. El fuego, al condensarse, se transforma sucesivamente en aire, agua y tierra.

Las teorías de Heráclito encierran la idea de la *unidad del universo*, la idea de *eternos cambios* y de los *cambios en las formas de la vida*. La doctrina de Heráclito, que refleja una dialéctica espontánea, era muy estimada por V. I. Lenin, que escribió acerca de ella: "Es una exposición muy acertada de los principios del materialismo dialéctico."[1]

La idea de la lucha de las contradicciones como base de la armonía la continuó en el plano de la naturaleza viva Empédocles (490-430 a. n. e.), en su teoría de los cuatro elementos o raíces de las cosas: fuego, agua, aire y tierra. Todos los cuerpos se componen de estos elementos y se descomponen en ellos. "Nada puede proceder de nada y no puede desaparecer lo que existe." La unión y desunión de los elementos depende de dos principios antagónicos: el amor y el odio.

Según Empédocles, la vida apareció cuando la Tierra comenzó a desarrollarse. Las porciones de barro expulsado por el fuego, que salía del subsuelo, tomaron diferente configuración, dando lugar a las plantas primero, y a los animales, después. En un principio se formaron órganos aislados de los animales, los cuales se movían desordenadamente y, atraídos por el amor, se unieron unos con otros, "cada cual con el que tropezó". Así es como surgieron las combinaciones más diversas, en la mayoría de los casos monstruos que no eran capaces de perdurar, hasta que en última instancia aparecieron formas viables.

La doctrina de Empédocles encierra la idea de la *selección*, de que únicamente se conservan y viven las formas que se adaptan. Estas formas se multiplicaron después, se repartieron, originando las especies que habitan la Tierra. Según Empédocles, la adecuada organización de los animales no es obra de un día, sino que se trata de un proceso de siglos.

La biogénesis de Empédocles, muy específica e ingenua, merece, sin duda, atención, ya que sus concepciones contribuyeron en alto grado a los ulteriores avances de las ideas evolucionistas. Su influencia se advierte en las opiniones de muchos científicos hasta el mismo siglo XVIII.

El defecto principal de la doctrina de Empédocles es su mecanicismo, el no considerar la idea de la sucesión de formas en la naturaleza viva, las faltas de historicismo y de la idea del desarrollo de lo simple a lo complejo.

Un gran éxito del materialismo antiguo fue la teoría enunciada por Demócrito (hacia 460-360 a. n. e.) sobre los átomos como elementos primordiales de la materia, que integran todos los cuerpos de la naturaleza, tanto viva como inerte.

Otro representante del materialismo antiguo fue el famoso médico grie-

[1] V. I. Lenin. *Cuadernos filosóficos*, 1936, pág. 318.

go, padre de la Medicina, Hipócrates (hacia 460-378 a. n. e.), con la gran escuela que con él se inicia.

Hipócrates y sus discípulos legaron a la posteridad una gran cantidad de obras. Reunieron un amplio material sobre Anatomía: acerca de los huesos, los músculos, los tendones, el cerebro y la espina dorsal, etc.

Respecto a la apreciación fisiológica del valor y el papel de uno u otro órgano se emitían con frecuencia opiniones excesivamente simples y falsas. No obstante, Hipócrates y sus continuadores orientaron a la Medicina hacia la observación y el experimento. Hipócrates consideraba que los médicos debían estar obligatoriamente preparados en Historia Natural, que la Medicina científica necesitaba de una base teórica. Antes de curar al hombre, escribía, es necesario conocer la naturaleza humana.

Hipócrates.

Aristóteles.

Hipócrates y su escuela combatieron contra el concepto de la enfermedad como resultado de la acción de fuerzas sobrenaturales. La enfermedad, afirmaban, es un proceso natural, resultante de acciones exteriores que obran desfavorablemente sobre el organismo (clima, alimentación, condiciones de vida). De acuerdo con ello propusieron diversas medidas profilácticas: reglas higiénicas y dietéticas.

En *Aristóteles* (384-322 a. n. e.) encontramos sin duda un verdadero gigante del pensamiento humano y al más grande filósofo y naturalista de la Antigüedad.

La influencia de Aristóteles, tanto en sus contemporáneos como en las generaciones posteriores de científicos, ha sido formidable. Sus numerosos trabajos marcaron a la ciencia la pauta a seguir durante casi 2.000 años.

Aristóteles reconocía la realidad y cognoscibilidad del mundo.

En su crítica de los sistemas filosóficos especulativos, resaltaba la enorme importancia de la observación y el experimento. Sus obras contienen y sistematizan un riquísimo material concreto relativo a diferentes ramas de las Ciencias Naturales.

Aristóteles amplió la teoría del conocimiento. Este va, según él, de los hechos, del experimento, a la generalización (inducción). La acumulación de hechos aumenta la veracidad de las conclusiones generales a que los hechos nos conducen. Estas conclusiones fundamentales de carácter general sirven en lo futuro para el estudio deductivo de las cosas, es decir, para conocer los hechos concretos apoyándose en un principio general. Lenin dice que en su teoría del conocimiento Aristóteles "se acerca de lleno al materialismo"[1].

Aristóteles investiga las formas del pensamiento dialéctico; llega a excelentes conclusiones, aunque, sin embargo, no lo podemos considerar como un dialéctico consecuente, ya que la solución que da a muchos problemas es metafísica.

Según Aristóteles, la materia es un principio pasivo, es el material en que se realiza una determinada forma.

La forma es la causa motriz que conduce al objetivo final, a la realización de la forma.

Estas proposiciones las ilustra con gran claridad cuando describe el desarrollo del polluelo; sigue, día tras día, el proceso ontogénico del huevo, estableciendo un paralelo entre la embriogenia del ave y el desarrollo del hombre. Según afirma, al desarrollo embrionario le precede la fecundación, en que el principio femenino es pasivo y el masculino, activo. La mujer proporciona la materia; el hombre, el principio del movimiento.

Según Aristóteles, el principio creador (entelequia) es la forma que transforma la materia. El huevo es la materia, la imagen del polluelo, la causa motriz que da lugar al desarrollo del huevo, desarrollo que tiene como meta el polluelo. La imagen del polluelo induce al huevo a desarrollarse. En el polluelo se lleva a cabo la realización de la forma.

El huevo de cada animal posee su imagen, su tendencia de desarrollo; la misma causa orientadora rige, según Aristóteles, en la ontogénesis del hombre. La entelequia de Aristóteles es un principio inmaterial.

En la naturaleza todo está subordinado, según Aristóteles, a una tendencia única, la de la realización de una forma ideal; todo se perfecciona bajo el signo de los objetivos finales. Las formas primitivas de vida tienden a lo mejor, la piedra a la planta, ésta al animal, el animal al hombre y el hombre a lo divino.

Partiendo de ello, Aristóteles coloca todos los organismos en una serie, de acuerdo con una gradación que corresponde al aumento de complejidad en la estructura. En la parte inferior de la clasificación sitúa las piedras, los metales, los minerales, después las plantas, los zoófitos (animales-plantas), los animales inferiores, los animales superiores, el hombre y los espíritus superiores.

Por lo tanto, la materia se mueve hacia la realización de diferentes formas, que, en última instancia, conducen a la forma perfecta.

Pero esta dinámica no es infinita, ya que existe un límite, el objetivo final. El movimiento se apoya en la causa del movimiento, en el móvil primitivo, en la forma ideal, la divinidad.

Por lo tanto, la teleología de Aristóteles (el estudio de las causas en la naturaleza) conduce a la teología, a la divinidad.

[1] V. I. Lenin, *Cuadernos filosóficos*, 1936, pág. 292.

A pesar de que en las concepciones de Aristóteles falta la sucesión de formas de la naturaleza viva, su idea de la gradación desempeñó en el futuro un gran papel; contribuyó al avance de la idea evolutiva, señala que en la multiplicidad de formas existe una determinada ley, demuestra de forma objetiva el progreso de la organización de las formas vitales.

Aristóteles es un empírico, nunca se aparta de los hechos. Su teleología, aplicada al mundo vivo, era, sin duda, progresiva, ya que no se limitaba a indagar la naturaleza del objeto investigado, sino que también trataba de dilucidar su destino, el "para qué" de su existencia.

Al describir el desarrollo del polluelo, Aristóteles expuso el gran pensamiento de que en el proceso de la embriogénesis aparecen al principio los rasgos generales, que caracterizan grupos sistemáticos mayores, y sólo después se diferencian los rasgos especiales, característicos de la especie. Esta tesis, recogida después por K. Ber, constituye la base de la ley biogenética.

Aristóteles estaba muy lejos de compartir las ideas del preformismo. Aunque del huevo de una especie determinada puede salir únicamente un animal de esa especie, el desarrollo constituye, según Aristóteles, una serie de indudables transformaciones cualitativas.

Aristóteles estudió y describió más de 510 especies de animales; investigó su estructura interna, su modo de vida e instintos, describió el modo de reproducción de muchas formas, los fenómenos de la partenogénesis, de los peces vivíparos, de los órganos rudimentarios y del sueño invernal, las metamorfosis, el parasitismo, las formas de adaptación a la vida en el fondo de los mares, los instintos constructores de los insectos, etc. En los monos veía una forma intermedia entre el hombre y otros mamíferos.

Sus amplios conocimientos de Zoología le permitieron establecer la primera clasificación, que no fue superada hasta Línneo. Aristóteles agrupó los animales no sólo por su semejanza, sino, como él mismo decía, por su parentesco.

Partía en la clasificación del conjunto de caracteres, lo que le permitía la formación de "grupos naturales". Dividió los animales en dos grandes grupos: los que tienen *sangre* y los que *no la tienen,* división que corresponde al principio posterior de clasificación de Lamarck, en vertebrados e invertebrados.

El concepto de animales con y sin sangre lo encontramos también en las obras anteriores de Demócrito. Aristóteles dividía luego los animales en "grandes tribus" y estas últimas en "pequeñas tribus" y especies.

Las "grandes tribus" de Aristóteles se asemejan al concepto actual de las clases.

Aristóteles no diferencia claramente los conceptos de tribu y especie. Sin embargo, para determinar la especie utilizó el *criterio fisiológico,* que después ha seguido conservando su importancia. Así, por ejemplo, al tratar de un grupo determinado de animales decía de ellos que constituyen una especie, ya que se aparean entre sí y tienen descendientes.

El estudio comparativo de los animales ayudó a formular algunos principios generales. En su investigación no sólo de las formas, sino también de la función de los órganos, Aristóteles se aproximó al concepto de *órganos análogos* y *homólogos.*

Cuando compara las escamas de los peces y las plumas de las aves, las uñas y las pezuñas, la mano y la garra, etc., llega a la conclusión de que, en general, en los animales

de las distintas especies tienen la mayoría de los órganos diferente forma: unos se asemejan por su posición y sus funciones, aunque en realidad son de naturaleza (origen) diferente; otros, en cambio, son de igual naturaleza, pero se diferencian en cuanto a su forma.

Otro gran avance de Aristóteles en el terreno de la Anatomía comparada es su teoría de la *correlación entre los órganos.*

Aristóteles escribía: "La naturaleza no puede enviar el mismo material a la vez a diferentes lugares. Lo que da generosamente en un lugar lo economiza en otros... Los cambios en un órgano originan cambios en otro". Esta tesis la ilustra con numerosos ejemplos: la disminución del número de apéndices en los crustáceos de más complejo aparato bucal, la falta de dientes incisivos en los rumiantes, que tienen un complicado estómago, etc.

En la teoría aristotélica de la correlación entre las partes del organismo apunta ya la "ley de la correlación", que alcanzó su desarrollo tan sólo a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX.

Aristóteles llegó también a la conclusión de la unidad estructural de los organismos. Al comparar la estructura del hombre, los cuadrúpedos y las aves, habla de la semejanza de su plan estructural general.

Aristóteles cultivó también la Botánica, pero, por desgracia, sus trabajos en esta rama de la ciencia se han perdido. Se puede juzgar del grado que en su época alcanzaron los conocimientos en esta esfera por las obras de su sucesor Teofrasto (372-287 a. n. e.), llamado el padre de la Botánica. Teofrasto es autor de una *Historia de las plantas* en nueve libros y de otras importantes obras.

Aristóteles dejó una profunda huella en todas las ramas de las Ciencias Naturales.

El Renacimiento.

Durante la Edad Media, en la época del feudalismo, el poder ilimitado de la Iglesia llevó la ciencia a un verdadero colapso.

"La sabiduría humana constituye ante Dios una locura", predicaban los padres de la Iglesia.

En la segunda mitad de la Edad Media predominó el escolasticismo[1], que limitaba el saber al estudio de los libros y negaba la investigación de la naturaleza viva y el trabajo creador original. Unicamente se podía recurrir a los datos que ofrecían los libros, cuyo único objeto era fundamentar el dogma religioso de la creación del mundo. Con tal finalidad se utilizaban los elementos reaccionarios de las teorías de Aristóteles, mientras que todo lo progresivo contenido en ellas se relegaba al olvido. V. I. Lenin señaló que la escolástica y el clericalismo tomaron de Aristóteles únicamente lo carente de importancia, eliminando en su doctrina todo lo valioso.

Sin embargo, durante la sombría época medieval hubo algunos científicos que mantuvieron puntos de vista materialistas y ampliaron los elementos materialistas progresivos de la doctrina de Aristóteles. Uno de ellos fue el celebérrimo sabio tadjico Abu-Ali-Ibn-Sina (Avicena, 980-1037), enciclopedista, médico y pensador, autor del famosísimo *Canon de la ciencia médica,* que durante siete siglos fue la fuente de los conocimientos médicos.

[1] Del latín *scholae,* escuela. La escolástica es una filosofía medieval religiosa e idealista. Se caracterizaba por sus disquisiciones abstractas y vagas y por sus subterfugios lógicos, completamente estériles.

Engels ve el comienzo de las Ciencias Naturales modernas, lo mismo que de la historia moderna, en el Renacimiento, es decir, en el período que comienza en la segunda mitad del siglo XVI. La base social para el desarrollo de las ciencias en este período era el incremento de las relaciones capitalistas.

El desarrollo del capitalismo debilitó el poder de la Iglesia, creció el interés por los conocimientos concretos, necesarios para las actividades prácticas, y aparecieron las primeras escuelas laicas. Dio comienzo a una época de auge cultural. A la vez que se restablecía y se asimilaba con un espíritu creador lo mejor que la cultura de la Edad Antigua había dejado, se ampliaron en todas las Ciencias Naturales los trabajos de investigación. La imprenta constituyó una potente arma en la lucha de la burguesía en ascenso contra la clase feudal. Engels define así el Renacimiento: "Fue ésta la mejor revolución progresiva que la humanidad había conocido hasta entonces; fue una época que requería titanes y que engendró titanes por la fuerza del pensamiento, por la pasión y el carácter, por la universalidad y la erudición."[1]

Avicena.

Una figura ilustre de la ciencia en los comienzos del Renacimiento fue el genial sabio italiano *Leonardo de Vinci* (1425-1519), naturalista, matemático, mecánico, buen conocedor de la cultura antigua y el mejor pintor del siglo XV. Leonardo de Vinci afirmaba: el conocimiento es hijo de la experiencia.

Este gran sabio fue continuador de las tradiciones de Aristóteles en los problemas relativos al estudio de la naturaleza viva. Disecaba los cadáveres de animales y personas, y también practicaba la vivisección. Sus magníficos dibujos reflejan el genio del artista y el sabio. Realizó un gran número de descubrimientos científicos. Leonardo de Vinci comenzó el estudio de la Anatomía por el desarrollo embrionario, combinándolo con la Fisiología. A él se debe la doctrina de la expresión de las sensaciones, lo que reflejó de modo brillante en sus obras artísticas. Sus apuntes demuestran un profundo conocimiento del metabolismo y de los fenómenos de analogía en el desarrollo de los órganos.

Determinó acertadamente, mucho antes que Copérnico, la situación de la Tierra dentro del Universo, supo interpretar los descubrimientos paleontológicos y el papel del agua en las transformaciones acaecidas durante los períodos geológicos en la superficie de la Tierra.

Leonardo de Vinci influyó extraordinariamente en el desarrollo de la Medicina teórica, siendo sus sucesores inmediatos los eminentes anatomistas Vesalio (1514-1564), Falopio (1523-1562), Eustaquio (hacia 1510-1574) y Fabricio (1537-1619).

[1] Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, 1952, pág. 4.

Fabricio y después Servet (1509-1553) colocan en primer lugar el aspecto fisiológico. En Servet encontramos datos acerca de la circulación pulmonar de la sangre. Fabricio mostró, en un trabajo especial sobre las venas, que sus válvulas están orientadas hacia el corazón y que las arterias carecen de válvulas. Esta obra facilitó, en gran parte, los trabajos llevados a cabo sobre la misma cuestión por su discípulo, el inglés Harvey (1578-1657).

Mediante ligaduras de vasos en distintas partes del cuerpo, Harvey estudió y describió la circulación arterial pulmonar y general; publicó el resultado de sus investigaciones en Londres, en 1628.

Las obras de Harvey inauguraron una nueva época en la Medicina. Sin embargo, su teoría no fue reconocida universalmente hasta después de las investigaciones microscópicas de Marcello Malpighi (1628-1694), profesor de la Universidad de Bolonia, que descubrió los capilares que unen las venas y las arterias.

Las Ciencias Naturales, que se movían en una situación de auge revolucionario, eran ellas mismas revolucionarias, ya que rompían con las viejas trabas impuestas por la religión, y conquistaban el derecho a la libertad del trabajo de investigación. Las ciencias biológicas reúnen primero minuciosamente y *acumulan* más tarde los hechos, los describen y hacen su "inventario", para después elevarlos a un *sistema*.

La expansión colonialista y del mercado internacional ayudaron extraordinariamente a la acumulación de datos. Las expediciones a lugares lejanos traían consigo el descubrimiento de nuevas tierras. Tuvo, sobre todo, una gran importancia el conocimiento de la flora y la fauna de la India y América.

El primer investigador de la India, que describió su flora, fauna, población y costumbres fue el viajero ruso Afanasi Nikitin.

Se fueron reuniendo colecciones de plantas y minerales, se acumularon datos acerca de las riquezas naturales de diferentes regiones. En todos los países europeos, en los grandes centros urbanos y residencias se crearon parques, jardines botánicos, jardines de plantas medicinales, en los que fue cada vez mayor la variedad de plantas. Aparecieron casas de fieras, en las que se guardaban animales exóticos. Se crearon museos de objetos raros. De América pasaron a Europa la papa, el maíz, la calabaza, el frijol, el tabaco, la piña, el árbol de caucho, el cacao, el camote, el cacto, la fucsia, el árbol del palisandro, etc.; de India llegaron la canela, el clavo, la nuez moscada y otros artículos. Muchas plantas fueron traídas de Asia Meridional.

Al principio, las plantas y los animales se estudiaban sin el menor sistema científico. El único criterio para su clasificación radicaba en el interés que ofrecía al hombre tal o cual forma, si era o no comestible, si tenía propiedades medicinales, si era de utilidad práctica o por su belleza y aroma, etc. La introducción en Europa de gran número de cultivos alimenticios e industriales indujo a la investigación más detenida de las plantas locales europeas, con lo que se descubrieron y pusieron en explotación otras nuevas de mucha utilidad. Se escriben numerosos "herbarios", en los que aparecen ya elementos de una clasificación científica, así como indicaciones acerca del lugar y la época en que deben coleccionarse las plantas, etc. Estas obras representan un indudable adelanto en comparación con los anteriores trabajos de Botánica. Hay intentos de agrupar las especies vegetales en *grupos genéricos* afines. Algunos autores trataron incluso de establecer las bases teóricas de una clasificación científica, separando los conceptos de

"género" y "especie"; es decir, que se iban creando las premisas de la nomenclatura binaria. De acuerdo con ello, cada forma debe tener dos nombres, que deben corresponderse entre sí como el apellido y el nombre de las personas: la primera denominación corresponde al género a que pertenece una forma; la segunda a la especie (por ejemplo, *Prunus spinosa*, el endrino).

Se perfilan las categorías sistemáticas superiores: la *sección, que corresponde* a nuestro orden, y la *clase*.

Sin embargo, todas las clasificaciones eran *artificiales*, ya que se basaban en un pequeño número de caracteres elegidos al azar, por lo que resultaba imposible descubrir las relaciones de afinidad entre las formas estudiadas. Un trabajo análogo se realizó también en el campo de la Zoología. Se publicaron importantes monografías, que contenían la descripción de los animales y también datos sobre su distribución geográfica, instintos y modo de vida.

El desarrollo de las investigaciones *anatómicas* favoreció el estudio de las formas de la naturaleza viva y abrió el camino para llegar a conocerlas más profundamente, compararlas y establecer relaciones entre ellas; es decir, facilitó la sistematización de los conocimientos adquiridos acerca del mundo animal. Las investigaciones anatómicas se extendieron a los invertebrados, estudiándose, en primer lugar, los insectos útiles al hombre (el gusano de seda y la abeja). El invento del microscopio hizo posible un estudio más profundo y detallado y la comparación de la estructura de los organismos animales y vegetales, ensanchando de esta forma los límites del mundo orgánico; el microscopio reveló la existencia de un mundo de pequeñísimos seres vivos.

Todas estas investigaciones acumuladas hasta fines del siglo XVIII, aunque muy amplias, eran en gran parte caóticas. No existía un sistema único de ordenación de todo este material, aunque ya se hacía patente su necesidad perentoria.

El sistema de los reinos vegetal y animal de Linneo.

El sistema de los reinos vegetal y animal mundialmente admitido fue creado en el siglo XVIII por el naturalista sueco Carlos Linneo (1707-1778). Con su obra, Linneo puso fin a la confusión que existía en las clasificaciones. Estableció definitivamente la nomenclatura binaria y agrupó de acuerdo con ella todo el material botánico y zoológico conocido en aquel entonces. En el sistema de Linneo la categoría superior es la *clase*. El sistema de Linneo, lo mismo que el de sus predecesores, era *artificial*.

Linneo tomó como base de su clasificación de las plantas un número muy reducido de caracteres, *el número y la distribución de los estambres y pistilos de la flor*.

El carácter artificial de la clasificación propuesta por Linneo hace que se reúnan en un grupo formas frecuentemente muy lejanas, como son, por ejemplo, la lila y una de las gramíneas, la espiga de oro, tan sólo porque ambas poseen dos estambres. Por el contrario, siguiendo este principio, formas muy próximas pertenecen a categorías sistemáticas lejanas. Linneo reconocía lo artificial de su clasificación y el carácter temporal de la misma. El sistema artificial de Linneo incluía solamente 24 clases, pero su intento de

crear un sistema natural dio origen a 67 órdenes naturales, que resultaron confusos y de difícil delimitación.

También es artificial el sistema linneano del reino animal. Lo dividió en seis *clases* (mamíferos, aves, anfibios, peces, insectos y gusanos). La clase de los *anfibios* tenía en su clasificación un solo orden, que incluía las ranas y las serpientes. Después dividió esta clase en *anfibios* y *reptiles*, según tuvieran o no tuvieran patas. Incluyó en la clase *gusanos* a todas las formas poco estudiadas de invertebrados, como, por ejemplo, los celentéreos, las esponjas, los moluscos, los equinodermos, e incluso los ciclóstomos. Formaban también parte de la clase *gusanos* los zoofitos (animales plantas), dándose el caso de incluir entre estos últimos a los protozoarios bajo el nombre general de Cao o *Chaos*, indicando así la total imposibilidad en que se encontraba la ciencia de su época para orientarse en el gran número de formas, en desorden caótico, incluidas en este grupo. Al hombre y al mono los agrupó en el orden de los *antropoides*, del que también forma parte el perezoso.

Linneo.

En el *Sistema de la naturaleza* de Linneo figuran todas las especies entonces conocidas de animales y plantas. De las 10.000 especies de plantas descritas, Linneo descubrió personalmente y describió cerca de 1.500. Esta obra tan gigantesca fue merecidamente alabada, tanto por sus contemporáneos como por las generaciones posteriores.

Linneo consideró la *especie* como la categoría sistemática fundamental. Concretó el concepto de especie, recurriendo para ello al criterio morfológico y al fisiológico. Como criterio morfológico le sirvió todo grado diferencial que no superase las *diferencias entre representantes de una familia.* Por tanto, basó el concepto de especie en la comunidad de origen. El criterio fisiológico estableció la capacidad de *cruzamiento* entre representantes de una especie y la incapacidad de realizarlo con los de las otras especies. El origen de las categorías sistemáticas del mundo orgánico era para Linneo la creación divina.

La afirmación de Linneo de la constancia de las especies convierte su sistema en metafísico y a él en un convencido *enemigo de la idea evolucionista.*

Sin embargo, la enorme experiencia de Linneo, su conocimiento de los representantes del reino vegetal procedentes de lugares lejanos no pudo por menos de hacer mella en el carácter categórico de sus primeras conclusiones. En los últimos trabajos de Linneo pueden encontrarse claras pruebas de la evolución de sus ideas. Por ejemplo, al tratar de las cuatro especies del género Junáceas dice concretamente que, sin duda alguna, todas ellas procedieron en tiempos remotos de una sola especie. Lo mismo dice de las especies de *Sonchus* y de otras formas.

Engels considera una gran concesión en favor de la mutabilidad de las especies la afirmación de Linneo de que algunas especies pudieron aparecer *como resultado de la hibridación.*

A pesar de estas vacilaciones, la escuela de Linneo y sus numerosos discípulo mantuvieron con tesón el principio de la constancia e invariabilidad de las especies; por eso el nombre de Linneo va ligado para siempre al concepto metafísico de la naturaleza. Este concepto es característico de la época en que vivió el naturalista sueco. Engels, al comparar este período de la historia con la Grecia antigua, subraya que, a pesar de que los conocimientos reales acerca de la naturaleza se habían ampliado considerablemente, las Ciencias Naturales de la primera mitad del siglo XVIII eran inferiores a las de la Antigüedad en el sentido del alcance ideológico del material acumulado. Los filósofos griegos enfocaban el estudio de la naturaleza históricamente, mientras que los naturalistas de este período la consideraban inmóvil, creada de una vez, invariable.

Los adversarios de Linneo. La escala de seres según los preformistas.

Debido a lo artificial de la clasificación empleada por Linneo, su ingente obra se atrajo la crítica del conocido naturalista francés *Georges Buffon* (1707-1788) y de los preformistas Charles Bonnet (1720-1793) y Jean Robinet (1735-1820). En su crítica del carácter artificial del sistema de Linneo, Buffon llegó a *negar toda clasificación.* La clasificación, decía, es útil solamente en cuanto facilita el trabajo del hombre en su estudio del mundo orgánico, pero también causa perjuicios, al establecer límites donde en realidad no los hay. Buffon consideraba que en la naturaleza no hay realmente clases, ni órdenes, ni géneros, ni especies. Estas categorías sistemáticas existen sólo en las mentes de los científicos. En la naturaleza son reales únicamente los individuos.

Bonnet y Robinet, partiendo de la "ley de la continuidad', enunciada por Leibniz, el famoso filósofo idealista alemán del siglo XVII, afirmaban que si se colocan en fila todos los seres que pueblan la tierra según su semejanza y la complejidad de su estructura, es decir, si se construye una *escala descendente de seres* desde las formas superiores a las inferiores, la diferencia entre dos seres contiguos será mínima. En otras palabras, si esta diferencia fuese algo menor, serían copia exacta uno de otro; si esta diferencia resulta algo mayor, en la jerarquía de seres habría un espacio libre, una interrupción que se opondría a la "ley de continuidad". Su punto de vista niega la clasificación y es en principio falso; no obstante, su papel fue entonces progresivo. Era una protesta contra el concepto metafísico de las interrupciones absolutas en la naturaleza, es decir, que objetivamente apoyaba la idea de la unidad de la naturaleza, del carácter común de todos los eslabones que constituyen la cadena de la vida.

Sin embargo, la escala de seres de los preformistas es *estática* y no reflejaba el desarrollo. Aunque se fundase en la unidad de la naturaleza viva, esta unidad no se apoyaba en la afinidad y en la aparición de unas formas a partir de otras, de acuerdo con su estructura cada vez más compleja, sino únicamente en su *semejanza,* ya que cada organismo se tomaba aislado de los oganismos próximos, en virtud de su origen de un germen especial con existencia eterna.

Conceptos de Buffon.

En comparación con otros representantes de la ciencia europea occidental, el punto de vista más "histórico" sobre el desarrollo del mundo orgánico lo expuso Buffon, a pesar de que este término (como se verá más adelante) puede ser utilizado con ciertas restricciones. En sus obras *Epocas de la naturaleza, Teoría de la Tierra* y otros numerosos trabajos, Buffon expone sus conceptos acerca del pasado de la Tierra y de los organismos que la pueblan. Considera que nuestro planeta se desprendió de la masa solar, por colisión con un cometa. La esfera terrestre incandescente, que giraba en el cosmos, se fue enfriando paulatinamente, en primer lugar en los polos. El globo terráqueo estaba rodeado de una atmósfera de vapores y gases. Los vapores, a medida que se iban enfriando, se condensaban originando agua, que caía sobre los polos en forma de diluvios. Así, toda la Tierra quedó cubierta poco a poco por un mar casi en ebullición. Apareció la vida en el agua; por tanto, los primeros seres vivos fueron formas acuáticas; según Buffon, se trataba de peces y animales con conchas. Se formaron a partir de diminutas partículas de sustancia viva, de "moléculas orgánicas". Al continuar el enfriamiento de la Tierra, el mar se alejó de los polos, apareciendo así la tierra firme, en la que del mismo modo surgieron los organismos terrestres, vegetales y animales. Eran en un comienzo los grandes representantes de la fauna tórrida: enormes toros, rinocerontes, elefantes. A causa del subsiguiente enfriamiento, los animales de los países cálidos fueron retrocediendo hacia el ecuador, originándose en los polos las formas de los países templados. A continuación, el clima y, por lo tanto, el mundo orgánico correspondiente, volvieron a desplazarse y en los polos se formó la flora y la fauna de los países fríos.

A pesar de lo fantástico de estas ideas, hay en ellas, sin duda, una serie de conceptos valiosos, que no han perdido su importancia en la actualidad. Es de apreciar, ante todo, la tentativa de Buffon de *ligar el origen del mundo orgánico a la historia de la Tierra.*

Es interesante su idea acerca de la formación de determinadas formas en centros originarios y su *distribución* ulterior. La confirmación de sus tesis la buscaba Buffon en los materiales de la naciente Paleontología, ciencia que trata de los organismos fósiles y que encontró apoyo en las excavaciones iniciadas por la Academia Rusa de Ciencias en Siberia. El descubrimiento de grandes animales (mamuts) en el suelo helado de Siberia sirvió a Buffon para demostrar que allí había habido en determinada época un clima tropical y la fauna correspondiente. El descubrimiento de conchas en las altas montañas, confirmó la idea de que en tiempos el océano había cubierto la superficie de la Tierra, etc.

A pesar de lo erróneo de muchas de las afirmaciones de Buffon, este naturalista estimuló con sus excelentes obras el avance de las investigaciones en su especialidad.

Buffon hablaba de los cambios sufridos por el mundo vivo bajo la acción de los cambios del clima, el suelo, la alimentación, el uso y no uso de los órganos y, sobre todo, la domesticación de los animales. Buffon hablaba también de la hibridación, como la causa de la transformación de las formas primitivas. Sin embargo, no hay que olvidar lo más importante de su obra: la idea de que todos los organismos existentes surgieron al mismo tiempo de "moléculas orgánicas" en las épocas correspondientes, y en lo

sucesivo únicamente se modificaron un tanto bajo influencias externas. Por tanto, Buffon no admite las ideas evolucionistas de la sucesión de formas de la naturaleza viva; podemos hablar únicamente de los *principios del transformismo*, uno de cuyos fundadores es Buffon.

DESARROLLO DE LA CIENCIA EN RUSIA HASTA FINES DEL SIGLO XVIII

Los monumentos, los escritos y las construcciones demuestran que la ciencia existió y se desarrolló en Rusia a partir de una época muy remota. Numerosos libros acerca del empleo de hierbas medicinales, y las "consideraciones filosóficas acerca de la naturaleza" nos muestran el gran trabajo realizado por los naturalistas rusos. Sin embargo, el desarrollo cultural normal del pueblo ruso se vio cortado por la invasión de los tártaros, y luego transcurrió en un ambiente de luchas por la libertad y la independencia nacional. Esta circunstancia frenó el avance económico del país y contribuyó a que Rusia iniciase más tarde que otros países europeos el desarrollo capitalista. A pesar de ello ha dado al mundo valerosos exploradores de nuevas tierras e infatigables viajeros a lejanos mares y países, que abrieron gloriosas páginas en la historia de las investigaciones de la superficie terrestre.

Afanasi Nikitin, de quien ya hemos hablado, emprendió en 1466, por iniciativa propia, una expedición que le hizo famoso como el primer explorador de la India. La describió en su diario titulado *Viaje a través de tres mares*, que aun hoy sigue siendo una fuente inestimable de conocimientos acerca de la India del siglo XV.

Simeón Iványovich Dézhnev descubrió a mediados del siglo XVII la ruta marítima desde el Océano glacial Artico al Pacífico, describiéndola con gran precisión.

Los hermanos Dimitri y Jarítón Láptev, miembros de una de las más grandes expediciones en la historia dedicadas al estudio de la ruta septentrional marítima, emprendida por iniciativa de Pedro I, hicieron importantes descubrimientos tanto de la geografía como de la naturaleza de aquella región, de su fauna y flora. El mar que exploraron lleva su nombre.

Otra gran aportación científica es la de Stepán Petróvich Krasheninnikov, el primer explorador de Kamchatka, nombrado posteriormente profesor de la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Dejó una gran *Descripción de las tierras de Kamchatka*, que es el primer trabajo en el mundo sobre este tema. En esta obra se nos muestra no sólo como naturalista, sino también como etnógrafo, lingüista e historiador. Krasheninnikov fue alumno del primer centro de enseñanza superior de Rusia, la Academia de lenguas eslavas, griego y latín de Moscú.

Las escuelas laicas no aparecieron en Rusia hasta el siglo XVII; en aquella época la ciencia laica hace valer sus derechos y logra una determinada superioridad sobre la eclesiástica. El escolasticismo de esta última no respondía a las exigencias de la industria, el comercio y la técnica militar en desarrollo.

Las reformas de Pedro I fueron un gran estímulo para el avance de las ciencias rusas. Este monarca fundó en San Petersburgo, en 1724, la *Academia de Ciencias* y el Gabinete de Curiosidades, que fue uno de los mejores museos de Europa. La Academia de Ciencias comenzó a publicar en gran escala sus trabajos, entre los cuales ocupan un lugar destacado las obras de historia natural. También dio a conocer a los estudiosos rusos las mejores obras de la ciencia occidental.

Conceptos evolucionistas de M. V. Lomonósov.

Entre los alumnos de la Academia figura Mijail Vasilievich Lomonósov (1711-1765). Este verdadero gigante del pensamiento elevó la ciencia rusa a una altura extraordinaria, adelantándose a sus contemporáneos en todo un siglo. En realidad, Lomonósov sentó las *bases de todas las ciencias naturales contemporáneas.*

F. V. Lomonósov.

Lomonósov era un patriota y un científico genuinamente ruso. Sus conocimientos eran *enciclopédicos.* Legó a la posteridad modelos de una labor genial en las diferentes ramas de la ciencia, el arte y la técnica.

Los trabajos y los puntos de vista de Lomonósov tuvieron también honda repercusión en las ciencias biológicas. En este sentido ofrecen gran interés sus trabajos sobre Geología y Mineralogía.

Lomonósov fue el primero en enunciar la *idea evolucionista* en Geología, adelantándose en este sentido al inglés Charles Lyell en más de setenta años. La obra de Lomonósov *Acerca de las capas terrestres apareció* en el año 1757. En ella hablaba de los cambios paulatinos que tuvieron lugar en la superficie terrestre a lo largo de la milenaria existencia de ésta.

Lomonósov distingue dos clases de factores, de los que dependen estos cambios: los factores *externos,* el aire y el agua, cuya acción se refleja, en particular, a través de las "grandes lluvias y del rápido deshielo", y también a través de la actividad de los "mares y lagos que se salen de sus orillas", y los factores *internos,* la actividad de los volcanes.

Lomonósov llega a la idea de la evolución en el reino de la naturaleza inorgánica y la hace extensiva al *mundo orgánico,* concepción que no alcanza, incluso muchos años, después Lyell, el conocido reformador de la Geología. Lomonósov escribía: "Hay que tener bien presente que los cuerpos visibles en la tierra y todo el mundo no eran en un comienzo, cuando fueron creados, como los encontramos a veces, sino que estuvieron sometidos a grandes cambios. . ."[1]

Lomonósov era un *materialista consecuente.* Mantuvo una lucha decidida contra las teorías creacionistas, que dominaban en su tiempo, e insistió en la necesidad de estudiar las causas naturales de todos los fenómenos. Escribía lo siguiente: "En vano piensan muchos que todo. . . debe su origen al Creador. . . y que por eso no es necesario investigar las causas de sus diferentes propiedades internas y los lugares que ocupan. Semejantes opiniones son muy perjudiciales para el progreso de las ciencias y, por tanto, para el conocimiento natural del globo terráqueo. . ., aunque a algunos que pecan de listos les es muy fácil pasar por filósofos aprendiéndose de memo-

[1] M. V. Lomonósov, *Obras filosóficas escogidas,* 1940, pág. 214.

ría cuatro palabras: *Dios así lo hizo,* con las que dan respuesta, sin detenerse a enumerar las causas."[1]

En su análisis de las propiedades de los cuerpos orgánicos, Lomonósov expone la *idea del desarrollo.* Llega a la conclusión de que los cuerpos vivos no son fenómenos casuales. Su origen y estructura interna dependen de leyes naturales concretas. Lomonósov considera el organismo como un *todo único.* Decía sobre esto: "Las partes de los cuerpos resultan enlazadas entre sí de tal modo que todas ellas unidas unas con otras tienen un origen causal como un todo único."[2]

Para los biólogos son de gran interés las ideas de Lomonósov acerca de la Paleontología. En su época, muchos hombres de ciencia veían en los fósiles un peculiar "juego de la naturaleza"; otros buscaban en ellos una demostración del diluvio universal. Según Lomonósov, los fósiles son restos de seres vivos, muertos a causa de factores ordinarios, que actúan constantemente. Eso le permitió explicar acertadamente el origen del ámbar y de los organismos vegetales y animales que a veces se encuentran en él.

En toda la labor científica de Lomonósov resalta la amplitud de conceptos, su materialismo consecuente, los profundos vínculos de la teoría con la práctica, con los intereses nacionales del pueblo ruso, su constante preocupación por el bienestar del pueblo y por su instrucción. A iniciativa suya y de acuerdo con su proyecto, en 1755 fue creada la Universidad de Moscú, que se convirtió en uno de los más importantes centros de la ciencia y de la cultura rusas.

Sin embargo, la actividad de Lomonósov, como después la de otros científicos avanzados rusos anteriores a la Gran Revolución Socialista de Octubre, transcurrió en una constante lucha contra la rutina de la administración, encabezada por el gobierno absoluto de los terratenientes, el cual dificultaba el desarrollo independiente del pensamiento científico ruso.

Nuevos avances de las ciencias naturales rusas en el siglo XVIII.

Además de Lomonósov, de la Academia Rusa de Ciencias y centros científicos creados posteriormente (en Kazán, Kíev, Járkov, etc.) salió una pléyade de investigadores que enriquecieron la ciencia rusa y la mundial.

Los microscopistas rusos del siglo XVIII aportaron una gran contribución a la ciencia (véase pág. 44).

K. F. Wolff, autor de la teoría de la epigénesis que hemos expuesto en capítulos anteriores (ver pág. 105), llegó también en sus trabajos con vegetales a la idea de la *metamorfosis de las plantas.*

Wolff afirmaba que las diferentes partes de una planta tienen un origen común. Comparó el cáliz de la flor con un grupo de hojas que no se han desarrollado por completo. La corola, el pericarpio y las semillas son, según Wolff, diferentes modificaciones de las hojas. Afirmaba que en las flores dobles los estambres se transformaban en pétalos, por lo que los estambres deben ser considerados también como hojas modificadas.

Las investigaciones de Wolff ponían término a las concepciones preformistas de la invariabilidad de las especies: afirmaban la idea del desarro-

[1] M. V. Lomonósov, *Obras filosóficas escogidas,* 1940, pág. 214.
[2] M. V. Lomonósov, ibídem, pág. 97.

llo, estableciendo con ello las bases de los conceptos evolucionistas. Desde este punto de vista, Engels hizo de él grandes elogios.

Así, pues, en las ciencias naturales rusas del siglo XVIII se impuso firmemente la vía *experimental*. Sin embargo, los naturalistas rusos del siglo XVIII no eran unos empíricos de horizontes limitados; no sólo supieron montar acertadamente los experimentos, recoger los materiales necesarios, sino que también fueron capaces de darles una *explicación teórica adecuada*. Esta corriente la apoyaron los representantes de la ciencia social avanzada, una de cuyas figuras más relevantes fue *A. N. Radíschev* (1749-1802).

A. N. Radíschev.

Radíschev, basándose en los datos que podían ofrecerle las ciencias naturales de su tiempo, sometió a profunda crítica la teoría de la "involución" (véase pág. 105) y trató de dar una síntesis filosófica del desarrollo. Quiso descubrir la interrelación e interdependencia de los fenómenos naturales, aclarar las *causas de la mutabilidad de los organismos*. Radíschev distribuyó toda la naturaleza viva y no viva según una escala ascendente ("escala de sustancia", según su terminología). La escala de Radíschev constituye una serie continua desde los cuerpos de la naturaleza inerte que, al complicarse, se transforman, cuando su desarrollo alcanza un grado determinado, en cuerpos orgánicos, los cuales a su vez adquieren en los siguientes grados nuevas cualidades —irritabilidad, sensación, conciencia—, hasta el pensamiento humano y las complejas relaciones sociales en la sociedad humana.

A diferencia de la escala de Bonnet y Robinet (en la que los organismos contiguos están aislados entre sí y no son afines, sino semejantes) la "escala de sustancias" de Radíschev refleja la idea de la transformación del desarrollo, de la unidad de toda la naturaleza sobre la base del origen común.

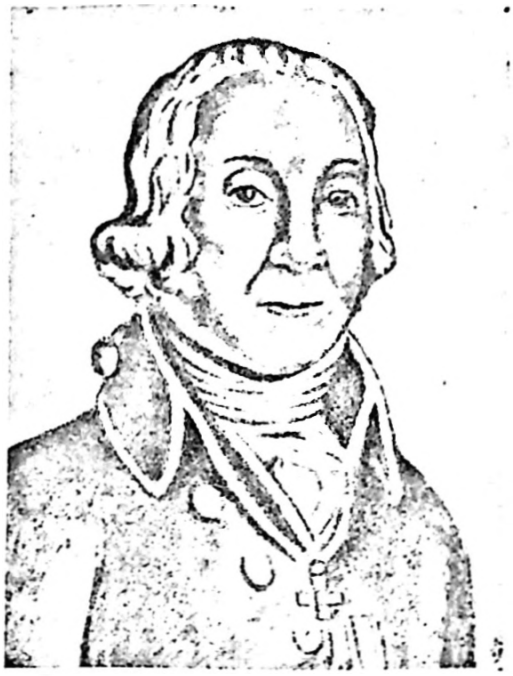
Radíschev expone también interesantísimas ideas sobre la unidad del organismo y el medio ambiente, sobre la transmisión de los rasgos adquiridos por herencia, sobre el papel del medio en la mutabilidad de los organismos, etc.

El Gobierno de Catalina II organizó una expedición científica a la Rusia Oriental y a Siberia, de la que fue designado como jefe del profesor de la Academia de Ciencias de San Petersburgo *P. S. Pallas* (1741-1811). Esta expedición, que duró seis años, perseguía objetivos científicos y económicos. Pallas emprendió más tarde una nueva expedición a Crimea y el Cáucaso. El material científico recogido en el transcurso de estos viajes fue muy numeroso.

Las excavaciones llevadas a cabo por la expedición obtuvieron valiosos materiales paleontológicos: se encontraron restos de mamuts, búfalos, rinocerontes, etc., que fueron el *comienzo de la Paleontología científica*. En sus

obras relativas al pasado de la Tierra y de los organismos que la poblaban, los autores posteriores (Buffon, entre otros) se apoyaron en parte en los trabajos de la expedición a Siberia.

Los materiales de estos viajes y, sobre todo, los de la expedición a Siberia sirvieron de base para muchos trabajos. Se recogieron abundantes ejemplares relativos a la *flora* y la *fauna* de las regiones exploradas.



P. S. Pallas.

La Zoología descriptiva se enriqueció con el descubrimiento de gran número de nuevas especies de animales.

La ciencia rusa obtuvo así una buena base para impulsar también la *Anatomía comparada*.

Estos materiales sirvieron de punto de partida para la *Zoogeografía* como ciencia independiente. No en vano adquirió después particular impulso precisamente en Rusia.

El museo de la Academia de Ciencias se completó con una gran cantidad de nuevos ejemplares.

Apoyándose en un profundo estudio de la naturaleza, Pallas se opone categóricamente a la idea predominante entonces de la agrupación de los organismos en forma de una escala rectilínea. Según su criterio, el único modo de representarlos, conducente al sistema natural, es en forma de árbol muy ramificado (fig. 314).

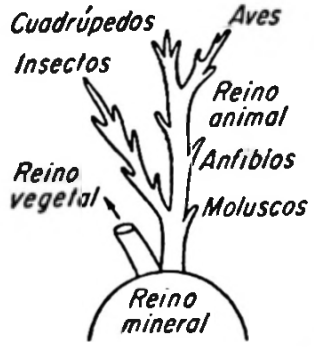


FIG. 314. Arbol genealógico, según Pallas.

Por tanto, a Pallas le corresponde la prioridad en la representación de las relaciones naturales entre los organismos en forma de árbol genealógico[1]. Esta idea adquirió definitivamente carta de ciudadanía en la ciencia solamente después del triunfo de las ideas evolucionistas, es decir, medio siglo después de la muerte de Pallas.

Entre los biólogos rusos del siglo XVIII es necesario citar también a *Afanasi Avvalúmovich Káverznev*. Debido a circunstancias trágicas, la actividad científica de Káverznev se interrumpió después de su primera gran obra, *Sobre la regeneración de los animales*.

En su trabajo, Káverznev pone *en tela de juicio la tesis* de la escuela de Linneo, sobre la *constancia de las especies*. Para demostrar la mutabilidad de los animales, Káverznev parte de la práctica de doma y domesticación de los animales.

Káverznev expone la idea de que las nuevas especies surgen de las ya

[1] Posteriormente, Pallas desistió de esta visión histórica de la naturaleza.

existentes como resultado de la influencia directa del medio exterior. Considera como factores de la transformación de los animales el cambio de clima (fundamentalmente el cambio de temperatura), los factores geográficos (relieve) y la influencia de la domesticación. Considera de especial importancia el cambio de alimentación.

CONCLUSIONES

1. Los datos científicos acerca de la naturaleza viva se fueron acumulando en relación con la actividad práctica del hombre (agricultura, medicina). Ya en la Antigüedad, existían en cuanto a la concepción del mundo sistemas materialistas e idealistas, dialécticos y metafísicos. El primer naturalista que reunió y sistematizó gran cantidad de hechos reales fue Aristóteles. Sus obras influyeron notablemente durante muchos siglos en la marcha de la ciencia.

2. En la Edad Media, a causa del perdominio de la Iglesia la ciencia sufrió una profunda decadencia.

3. Las Ciencias Naturales modernas tienen su origen en el Renacimiento. El desarrollo de las relaciones capitalistas, el comercio internacional y la colonización contribuyeron a acumular conocimientos acerca de los organismos.

4. La ciencia se hizo descriptiva. Apareció la tendencia a la clasificación y sistematización. El sistema artificial más perfecto es el de Linneo.

5. En su crítica del carácter artificial del sistema de Linneo, G. Buffon, Ch. Bonne y J. Robinet, llegaron a negar la necesidad de un sistema y la realidad de las especies. Los preformistas proponían distribuir los organismos según una escala descendente, desde las formas superiores a las inferiores. Sin embargo, el principio del preformismo aísla unos organismos de otros, y semejante distribución refleja tan sólo la semejanza de los organismos, pero no su afinidad.

6. Buffon trató de relacionar la aparición de las nuevas formas con la historia de la Tierra; pero sus ideas acerca de la aparición de las formas complejas directamente a partir de moléculas orgánicas no es evolucionista.

7. Rusia ha dado al mundo grandes viajeros y exploradores de nuevas rutas marítimas. La Academia Rusa de Ciencias, creada por Pedro I, y las reformas de este monarca estimularon el progreso de la ciencia rusa.

8. Una de las mayores figuras de las Ciencias Naturales del siglo XVIII es la del gran sabio, patriota y estadista ruso M. V. Lomonósov. Afirmó en las ciencias rusas la tradición materialista e introdujo la idea evolucionista en Geología, extendiéndola al mundo orgánico.

9. Los trabajos de los microscopistas rusos ampliaron el conocimiento de los organismos. R. Wolff y A. N. Radíschev se apoyaron en las investigaciones embriológicas en su lucha contra los preformistas. Radíschev opuso a la escala antihistórica de seres de los preformistas sus ideas evolucionistas hitóricas acerca del desarrollo de la naturaleza y los organismos.

10. Las expediciones a Rusia Central y Siberia proporcionaron valiosos datos a la Zoología, la Anatomía comparada y la Paleontología. P. S. Pallas fue el primero en la historia de la ciencia que propuso el árbol genealógico, como símbolo de las relaciones naturales entre los organismos.

A. A. Káverznev expuso sus concepciones sobre el desarrollo filogenético de los animales.

CAPITULO XI

DESARROLLO DE LAS CIENCIAS BIOLOGICAS EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX

TEORIA EVOLUCIONISTA DE LAMARCK

Indicábamos ya que en el siglo XVIII algunos científicos avanzados (M. V. Lomonósov, A. N. Radíschev, P. S. Pallas, etc.) se rebelaron contra el concepto metafísico de la naturaleza, en boga entonces, y se pronunciaron de una u otra forma en favor de la evolución de la naturaleza orgánica, en favor del origen histórico de las especies. Sin embargo, no existía aun una teoría evolucionista desarrollada. Apareció tan sólo después de la revolución burguesa francesa, a principios del siglo XIX. Su autor fue Lamarck.

Jean-Baptiste Lamarck nació en 1744; pertenecía a una familia noble arruinada. En 1760 ingresó voluntario en el ejército de operaciones, donde muy pronto ascendió a oficial. Terminada la guerra, continuó durante algún tiempo en el servicio militar. Ya entonces mostró su interés por la Botánica, recogiendo y clasificando plantas. A consecuencia de una enfermedad se retiró del servicio, ingresando en la Facultad de Medicina de París. Al mismo tiempo continuó sus estudios de las flores; fue discípulo del famoso botánico Bernard Jussieu, uno de los primeros que llevó a cabo investigaciones para establecer el sistema natural de las plantas. Durante este período, Lamarck se dedicó también a investigar otros problemas de Física y Química y también los fenómenos atmosféricos. Sin embargo, la Botánica era, al parecer, su ocupación fundamental, como lo demuestra la primera obra que publicó, la *Flora de Francia,* en tres tomos, obra que le proporcionó rápidamente gran renombre. Se imprimió gracias al apoyo de Buffon, que después continuó protegiéndole. Gracias a él pudo Lamarck emprender un viaje por Europa (como preceptor del hijo de Buffon), lo que le sirvió al eminente botánico para ampliar sus conocimientos. En 1779, Lamarck fue nombrado profesor adjunto de la Academia, y en 1789 pasó a ocupar el puesto de conservador del herbario en el Jardín Botánico Real. Continuó trabajando intensamente en esta rama, publicando al mismo tiempo gran número de trabajos sobre la clasificación de las plantas, y artículos sobre cuestiones de Botánica general. Por aquel entonces fue elegido miembro de honor de la Sociedad moscovita de investigadores de la naturaleza.

En Francia comenzó la revolución, y en el trabajo científico de Lamarck se produjeron cambios profundos: por decreto de la Convención el Jardín Botánico Real se convirtió en Museo de Historia Natural, en el que se fundaron varias cátedras. A Lamarck se le ofreció una cátedra, de nueva creación, la de insectos y gusanos. La aceptó, pidiendo un año de preparación.

Así, pues, en 1794, a los cincuenta años de edad, Lamarck cambió de especialidad. Con su enorme capacidad de trabajo, su gran entusiasmo y tesón, se entregó a la investigación en una esfera nueva para él y muy poco estudiada hasta entonces.

Comenzó así el segundo período de actividad científica de Lamarck, que sus biógrafos denominan zoológico, a diferencia del primero, el botánico. Este período fue muy fructí-

fero en lo que respecta a los resultados obtenidos. Lamarck desempeñó durante veinticuatro años la cátedra de Insectos y gusanos.

El gran número de trabajos de Zoología escritos por Lamarck tuvo como colofón la obra en siete tomos *Historia natural de los animales sin vértebras*. Publicó también 33 monografías acerca de invertebrados fósiles.

En 1809 vio la luz la *Filosofía zoológica* de Lamarck, que es, sin duda, su obra capital; la primera parte, que expone ampliamente su teoría evolucionista, es lo más valioso de toda ella.

Los trabajos de Lamarck en la época de su labor docente son muy variados. Abarcan cuestiones de Meteorología, cuyos fundamentos estableció, Física, Química, Botánica y Geología.

En 1818 Lamarck perdió la vista y hubo de abandonar la cátedra; en los últimos años de su vida se vio reducido a una extremada miseria aunque la ceguera no interrumpió su labor. Siguió trabajando con ayuda de sus hijas, a quienes dictaba sus obras.

J. B. Lamarck.

Lamarck creó la teoría evolucionista, apoyándose, en primer lugar, en sus obras sobre clasificación de animales y plantas. Como alumno que era de Bernard Jussieu, continuó su trabajo para crear un *sistema natural de las plantas*. Lamarck fue también un reformador de la clasificación zoológica y uno de los fundadores del sistema natural de los animales. A él le pertenece la división del reino animal en *vertebrados* e *invertebrados*, siendo en realidad quien creó la *Zoología de los invertebrados*. En lugar de las dos clases de Linneo (insectos y gusanos), Lamarck formó *diez clases* (moluscos, pogonópodos, anélidos, crustáceos, arácnidos, insectos, gusanos, radiolarios, pólipos e infusorios). Lamarck creó también la *Paleontología de los invertebrados*. Antes de él no existían trabajos semejantes. También tuvieron gran importancia en la formación de la teoría evolucionista de Lamarck sus trabajos de Geología. En su *Hidrogeología*, Lamarck, a semejanza de Lomonósov, atribuye los cambios acaecidos en la superficie terrestre en los períodos geológicos pasados a causas que persisten en la actualidad. Rechazó decididamente los cataclismos y consideró que el agua es el principal agente transformador en la historia de la Tierra.

La teoría evolucionista de Lamarck está íntimamente ligada a toda su concepción filosófica materialista y a su orientación revolucionaria progresista.

La doctrina de Lamarck sobre la evolución del mundo orgánico puede ser dividida en tres partes: *pruebas de la mutabilidad de las especies, teoría de la gradación de los organismos y teoría de las relaciones entre el organismo y el medio.*

Pruebas de la mutabilidad de las especies.

Lamarck se manifiesta decididamente contra la concepción metafísica de la naturaleza.

Las pruebas de la mutabilidad de las formas de la naturaleza viva las toma Lamarck de la *experiencia que brinda la agricultura*. Se basa en la ausencia en la naturaleza de numerosas variedades de plantas y razas de animales que el hombre cultiva y cría.

"¿Dónde es posible encontrar en la naturaleza nuestra col, nuestra lechuga, etc., tal como las tenemos en los huertos? ¿No sucede lo mismo con muchos animales, que al ser domenticados cambian y se transforman profundamente? ¡Y cuántas razas tan diferentes de gallinas y palomas domésticas hemos obtenido criándolas en condiciones diferentes y en diferentes países! En vano intentaríamos buscarlas ahora en la naturaleza"[1].

Lamarck ve la causa de los cambios y las transformaciones de las formas, al convertirlas en domésticas, en el *cambio de medio* a que el hombre somete las plantas y los animales, que pasan a vivir en condiciones artificiales; y bajo la influencia de este cambio del medio externo se modifican irremisiblemente las propiedades y los caracteres de las plantas y los animales.

La acción del medio exterior es muy potente. Incluso los caracteres que han sufrido insignificantes cambios por la acción del medio, por encontrarse relativamente poco tiempo conviviendo con el hombre y vivir en un clima que no les es extraño, ofrecen grandes diferencias en comparación con sus antecesores silvestres. Lamarck cita como ejemplo los patos y los gansos domésticos, que han conservado su semejanza con los salvajes, pero que han perdido casi la capacidad de volar.

Además de la acción del medio exterior, que constituye el factor más importante en la formación de variedades y razas, Lamarck atribuye también gran importancia a la hibridación. Lo mismo que posteriormente Darwin, Lamarck analiza el origen de las razas de perros domésticos. Supone que en tiempos existió una raza inicial muy próxima al lobo, que fue domesticada por el hombre. Los ejemplares de esta raza, que al principio no ofrecían entre sí la menor diferencia, fueron llevados por el hombre a diferentes países con distinto clima; con el tiempo, estos ejemplares, bajo la acción de las condiciones locales y de las diferentes costumbres que obligatoriamente habían de asimilar en cada país, sufrieron grandes cambios y dieron lugar a diferentes razas. Se imagina que los comerciantes llevarían ejemplares de las razas así originadas, desde los lugares alejados a las grandes ciudades, a las capitales, donde mediante el cruce y la reproducción se formaron todas las razas existentes en la actualidad.

Si en el transcurso de un período tan relativamente corto los animales y las plantas, situados por el hombre en nuevas condiciones ambientales, fueron capaces de transformarse tan profundamente, las especies de plantas y las razas de animales existentes en la naturaleza también se habrían transformado, al verse sometidos durante *enormes intervalos de tiempo* a unos u otros cambios de las condiciones exteriores.

Lamarck consideraba que estos cambios tuvieron lugar, tanto al *distribuir las especies* por nuevos lugares con distintas condiciones climatológicas

[1] Lamarck, *Filosofía zoológica*, 1935, t. 1, págs. 180-181.

y geográficas como con motivo de los *cambios* que con el tiempo experimentan los *diferentes lugares.*

El lento pero constante cambio de condiciones en que se desarrolla la vida de las especies, tal como tienen lugar en el globo terráqueo, produce el cambio lento, pero permanente de las especies mismas. Por lo tanto, según Lamarck, la idea de la constancia de las especies está en contradicción con todo lo que nos ofrecen las prácticas de la cría de razas de animales y el cultivo de plantas, con todo lo que se conoce acerca de la influencia de las condiciones exteriores sobre el organismo. La constancia de las especies es un fenómeno aparente, que depende de la lentitud de los cambios y de la brevedad de la vida humana. Así, en lugar del falso principio de la constancia de las especies lanzado por Linneo, Lamarck enuncia la tesis de la *mutabilidad de las especies.*

Teoría de la gradación.

La teoría de la gradación, es decir, de la distribución de los organismos en forma escalonada, *se desprende de los trabajos de Lamarck para crear un sistema natural.*

Esta idea plasmó en sus trabajos anteriores sobre Zoología y Botánica.

Según Lamarck, las divisiones sistemáticas son artificiales. En realidad, la naturaleza no ha producido ni clases, ni órdenes, ni familias, ni géneros, ni especies permanentes. El orden según el cual la naturaleza ha creado sus formas, puede descubrirse por la semejanza entre ellas, mediante la comparación de sus órganos. Semejante análisis del reino animal llevo a Lamarck a establecer 14 clases, que situó según los peldaños de una escala en la que se observa una degradación paulatina, es decir, una simplificación de la estructura, desde los mamíferos hasta los infusorios. Sin embargo, tal distribución no corresponde al orden en que los animales aparecieron. La naturaleza los creó en orden contrario: de los protozoarios a las formas superiores, es decir, siguiendo un orden de gradación o de aumento de la complejidad de su estructura. Lamarck se apoyó en la gradación para demostrar que la naturaleza fue creando las especies tal y como son ahora.

Lamarck escribía: "En realidad, si es verdad que todos los cuerpos vivos son producto de la naturaleza, hay que pensar que pudo producirlos únicamente siguiendo un orden de sucesión y no todos a la vez, en un corto período; pero si los formó paulatinamente, es de suponer que comenzara por los más simples, y que sólo al final llegara a los organismos más complejos del reino animal y vegetal."[1]

¿Cuáles son las causas que provocan la complicación de las formas orgánicas? Lamarck habla de la ley en virtud de la cual la naturaleza tiende paulatinamente a hacer más compleja la organización. Ahora bien, "ley" significa tan sólo una generalización de los fenómenos que en realidad se observan en la naturaleza, el hecho de la complejidad creciente de los organismos en el proceso de su desarrollo evolutivo. Lamarck no relaciona esto con la idea de una fuerza inmaterial que dirija el proceso del desarrollo. Es más exacto decir que en esta cuestión Lamarck se limita a señalar el fenómeno, sin darle una explicación concreta[2].

[1] Lamarck, *Filosofía zoológica,* 1935, t. 1, págs. 213-214.

[2] Algunos científicos consideran la gradación de Lamarck como un concepto idealista acerca de la tendencia de los organismos a perfeccionarse. *Nota de la Redacción.*

Por lo tanto, la gradación de los organismos, su distribución según peldaños de una organización cada vez más elevada *es fruto del desarrollo paulatino del mundo orgánico,* la imagen de la marcha gradual del proceso evolutivo. Una vez sentada esta premisa, Lamarck propone modificar el orden entonces establecido en la exposición de la Zoología, que comenzaba por las formas superiores y terminaba en las inferiores, y hacerlo al revés; en otras palabras, introdujo el principio evolutivo en la estructura del curso de Zoología. Sin embargo, según Lamarck, la evolución no tiene lugar únicamente hacia una superior organización.

Los animales con un mismo grado de organización, al encontrarse en condiciones diferentes, experimentan distintas influencias, a consecuencia de lo cual sus rasgos ofrecen grandes contrastes.

Por lo tanto, la evolución *no se realizaba únicamente en el sentido de elevar la organización de las especies, sino también diferenciándola,* de acuerdo con las condiciones específicas a que se veían sometidas estas especies.

Lamarck admitía la generación espontánea de las formas más simples de vida a partir de la materia inorgánica. Consideraba que esa generación espontánea de los organismos más simples tuvo lugar en todas las épocas de la vida de la Tierra y prosigue en la actualidad. Es así como Lamarck explica la existencia paralela de organismos superiores e inferiores. Tomaba los protozoarios como organismos que se encuentran en las fases iniciales de evolución, lo que en realidad es falso, ya que los protozoos actuales han recorrido un camino evolutivo específico de desarrollo, que se diferencia del camino evolutivo de los organismos superiores. La existencia conjunta de organismos superiores e inferiores encuentra acertada explicación en la teoría de Darwin, según la cual los organismos inferiores y superiores ocupan diferentes lugares en el conjunto de la naturaleza.

Teoría de las relaciones entre el organismo y el medio.

Si la causa del cambio y el desarrollo de las especies son las modificaciones del medio exterior, se plantea el importante problema de cómo se concibe la influencia de este medio externo en el organismo, de qué relaciones hay entre él y el medio. El problema de las relaciones entre el organismo y el medio que habita constituye la parte más importante de la teoría de Lamarck.

Según Lamarck, el medio exterior puede influir en la organización de una planta o de un animal únicamente si actúa sobre alguna de sus actividades.

La acción del medio sobre el organismo *vegetal* es más *directa* que sobre el organismo animal (influencia directa).

En las plantas, los cambios del medio originan cambios en la nutrición, "en los procesos de absorción y eliminación, en la cantidad de calor, aire y humedad recibida corrientemente"[1], es decir, en todo lo que la ciencia actual denomina metabolismo.

Entre los animales observamos, en realidad, lo mismo, pero las funciones son más complicadas por la presencia de sistemas nervioso y muscular

[1] Lamarck, *Filosofía zoológica,* 1935, t. I, pág. 178.

complejos. La respuesta a la excitación del medio es más complicada y multilateral que en las plantas. Por eso puede decirse que el medio exterior influye en el organismo *animal indirectamente*, a través de sus *órganos*, a través de sus *funciones*.

Lamarck enuncia dos leyes, en las que formula su punto de vista sobre la aparición de cambios en los animales y sobre su transmisión hereditaria. Estas leyes dicen, en resumen, lo siguiente:

1. *El uso constante de un órgano por un animal durante su juventud* trae consigo el incremento, el desarrollo de ese órgano; la falta de empleo *reduce su tamaño, pudiendo conducir a su total desaparición.*

2. *Los cambios adquiridos se conservan mediante su transmisión hereditaria.*

En confirmación de estas leyes, Lamarck expone ejemplos de desarrollo de órganos, como resultado de haberlos ejercitado durante enormes períodos de tiempo innumerables generaciones de una o otra especie animal. Es así como explica la forma tan especial del cuerpo de las jirafas y su estatura, en dependencia de sus condiciones de vida. Lamarck señala la excelente adaptación de las jirafas a estas condiciones; la casi total ausencia de hierba en el clima seco del Africa Continental les obliga a constantes esfuerzos para alcanzar las hojas de los árboles; como resultado de la vida de muchas generaciones en semejantes condiciones, las patas anteriores de la jirafa son más largas que las posteriores y su cuello se ha alargado tanto que el animal, con sólo elevar la cabeza, sin necesidad de levantarse sobre las patas traseras, puede alcanzar las hojas de los árboles de 6 m. de altura.

Para ilustrar la desaparición de un órgano a causa de su falta de empleo, Lamarck cita la carencia de dientes en las ballenas y las aves (aunque sus crías poseen rudimentos de dientes y sus antecesores los tuvieron); la pérdida en los animales cavernícolas de los ojos, que les son innecesarios en la oscuridad; la pérdida en las serpientes de las extremidades, que no les hacen falta para arrastrarse entre la hierba, la cual dificulta el movimiento de las patas, y otros muchos ejemplos.

Partiendo de sus leyes de desarrollo del reino animal, Lamarck enfoca también, verdad es que con muchas reservas y precauciones, el origen del hombre. Se detiene a analizar las etapas fundamentales de la transformación del mono en hombre.

La primera etapa de esta transformación es, según Lamarck, la transformación de los "cuadrúpedos" en "bípedos", se decir, el empleo para andar de las extremidades posteriores únicamente, debido a la necesidad de "ver a lo lejos y a lo ancho". De acuerdo con ello, las extremidades posteriores se modificaron de manera que el cuerpo se pudiera mantener en posición vertical. La segunda etapa fue la modificación del cráneo, motivada por el cambio de alimentación. Lamarck opina que todos estos cambios significaron grandes ventajas que permitieron a dichos animales reproducirse en gran escala, ocupar un lugar preeminente en comparación con otros animales de organización superior y acaparar los lugares más adecuados de la Tierra, expulsando de allí a otras razas; estas últimas, al verse perseguidas, se convirtieron en seres mezquinos y asustadizos. En semejantes condiciones no podían aparecer en ellos nuevas necesidades, nuevas costumbres, es decir, que la continuación de su desarrollo se vio limitada.

La tercera etapa en la formación del hombre la considera Lamarck re-

sultado de la vida en común, de la formación de grandes sociedades, a consecuencia de lo cual surgió la necesidad del intercambio de ideas. Esto se realizó al principio mediante gestos, y después gracias a la aparición del lenguaje articulado.

Los órganos que habían de servir para la articulación de los sonidos se desarrollaron por un constante ejercicio.

Al subrayar la importancia de sus leyes del desarrollo animal, Lamarck expone puntos de vista de los que se desprende la conclusión fundamental de esta parte de su teoría. Señala que la total correspondencia entre la forma del órgano y su empleo es interpretada con frecuencia erróneamente, cuando se supone que la forma y el estado de los miembros fueron los que motivaron su empleo. La continua observación de los animales desmiente tal criterio y lleva a la convicción que las necesidades de los animales fueron las que dieron lugar al desarrollo de estos órganos, condicionando su aparición y conduciendo por lo tanto al estado en que los observamos hoy día.

En consecuencia, no es la forma de las partes del cuerpo la que condiciona las funciones del animal, sino que, por el contrario, su actividad, su modo de vida y las condiciones exteriores en las que se encontraron los seres de quienes procede ese animal condicionaron, a lo largo del tiempo, la forma del cuerpo, el número y el estado de sus órganos y, por último, las facultades que le son propias.

Por lo tanto, la *tesis materialista acerca de la herencia de las propiedades adquiridas,* de Lamarck que constituye la base de la mutabilidad de los organismos, no es casual; se deduce de su acertada comprensión de la profunda y estrecha relación entre el organismo y el medio en que vive, que se lleva a cabo mediante la función y el intercambio, en el amplio sentido de esta palabra.

Importancia de la teoría de Lamarck.

El papel de Lamarck en la historia de las ideas evolucionistas es extraordinario. Comprendió realmente la importancia de la formación de las especies en cuanto al problema de la evolución en su conjunto y relacionó la evolución del mundo orgánico con el período geológico necesario para que el proceso evolutivo se cumpliese.

Lamarck trata ampliamente el problema de la evolución en toda su amplitud. Toca las cuestiones relativas a la mutabilidad, la herencia; analiza con acierto las relaciones del organismo con el medio en que vive e intenta encontrar y explicar la causa del proceso evolutivo.

Sin embargo, a la vez que llega a conclusiones generales completamente justas sobre la mutabilidad de las formas orgánicas, Lamarck no fue capaz de presentar los cambios de los organismos formando un todo con la existencia real de las especies en la naturaleza; en este punto su conclusión es metafísica, pues *niega la especie como algo real.*

Lamarck niega los saltos en el desarrollo y afirma que los cambios y las transformaciones son suaves, lo que le mueve a *negar la extinción de las formas primitivas.* Consideraba que los organismos actuales son descendientes directos, aunque muy modificados, de las formas fósiles.

La concepción materialista del mundo en Lamarck presenta los rasgos

de limitación característicos del materialismo del siglo XVIII. Los materialistas franceses de este período eran deístas.

Para explicar las causas de la aparición del mundo, Lamarck recurre a "Dios", al "Creador". Su concepto de Dios se limita a afirmar que existe y que es omnipotente. El Dios de Lamarck no se mezcla en los hechos de la naturaleza. Su papel se limitó al primer impulso en el comienzo del mundo, cuando apareció la materia y se estableció el orden de cosas que Lamarck denomina "naturaleza". Después, la naturaleza se desarrolló de acuerdo con leyes que le son propias. Cuando el hombre conoce estas leyes y domina el mundo, se convierte en "todopoderoso". Lamarck escribe que todos los conocimientos importantes y veraces que están al alcance del hombre tienen como único origen la observación. Unos son producto directo de ella; otros, el fruto de deducciones acertadas. Todos los pensamientos que no pertenezcan a esta categoría Lamarck los considera producto de la "imaginación".[1]

Es posible que la alusión a Dios se deba en Lamarck, en gran parte, a su deseo de eludir excesivas complicaciones en su teoría fundamental sobre la evolución de la Tierra y de los organismos que la pueblan. Al parecer, también tuvo esto en cuenta cuando estudió el origen del hombre. Al describir las etapas de la transformación del mono en hombre, Lamarck lo hace con reservas, diciendo que esto sería precisamente así si el hombre "se diferenciara del animal únicamente por su organización y su origen no fuera otro".[2]

Al examinar el problema del origen del hombre, como se ha dicho, Lamarck habla de la lucha y de la eliminación de las formas menos perfectas por las más perfectas. Semejantes argumentos son frecuentes en él. Lamarck ve en la lucha por la existencia la causa del "equilibrio armónico" en la naturaleza. Sin embargo, es de lamentar que estos pensamintos no alcanzasen en su teoría el desarrollo merecido.

La teoría de Lamarck fue acogida por sus contemporáneos con desconfianza y olvidada muy pronto. Era excesivamente revolucionaria para aquel tiempo. A pesar de que las ideas metafísicas se tambaleaban bajo la influencia del derrumbamiento de la antigua estructura social, eran aún muy fuertes y encontraron apoyo en las clases dominantes y en la Iglesia. Por otro lado, la insuficiencia de datos, que hubiera podido utilizar Lamarck en apoyo de su teoría, debilitaron su fuerza de convicción.

F. Engels escribía: "Pero no debe perderse de vista que en tiempos de Lamarck la ciencia no disponía aún, ni muchos menos, de datos suficientes para resolver el problema del origen de las especies más que anticipándose al futuro, de un modo profético por así decirlo"[3]. Con el triunfo del darvinismo la teoría de Lamarck salió del olvido a que había sido relegada.

K. A. Timiriázev subraya que la unión de la teoría de Lamarck sobre la dependencia del organismo con el medio en que vive, con la teoría de la selección de Darwin y el ulterior avance de la ciencia en este sentido, promete la solución de los problemas relativos a la transformación dirigida de las formas orgánicas. Esta tarea halló una brillante solución en los trabajos de Michurin.

[1] Lamarck, *Filosofía zoológica*, 1935, t. I, pág. 279.
[2] Ibídem.
[3] F. Engels, *Anti-Dühring*, 1950, págs. 70-71.

DESARROLLO DE LA ANATOMIA COMPARADA, LA PALEONTOLOGIA, LA ZOOLOGIA Y OTRAS CIENCIAS NATURALES

La Zoología y la Paleontología de los invertebrados se enriquecieron notablemente gracias a los trabajos de Lamarck.

La Anatomía comparada y la Paleontología de los vertebrados, cuyos fundamentos venían dados en las obras de la Academia Rusa de Ciencias, y también la Zoología de los vertebrados, cobraron nuevo impulso en las investigaciones de dos contemporáneos de Lamarck, sus compatriotas Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1884) y Georges Cuvier (1769-1832).

Geoffroy Saint-Hilaire.

Saint-Hilaire ocupó al mismo tiempo que Lamarck una de las cátedras de Zoología (la de mamíferos y aves). Después participó en la expedición napoleónica a Egipto, de donde regresó con una valiosísima colección zoológica. Saint-Hilaire descubrió y describió gran número de especies e incluso géneros nuevos de animales. Los datos recogidos permitieron establecer en rasgos generales la fauna de Egipto. Ofrecen también indudable interés sus trabajos paleontológicos; en Normandía, por ejemplo, encontró lagartos fósiles.

Sus abundantes materiales zoológicos le dieron base para enriquecer notablemente la Anatomía comparada y llegar a una serie de importantes conclusiones.

Al estudiar los órganos de los animales, pone en primer lugar la forma. Según su opinión, la función desempeña un papel subordinado. Es probable que esta tesis tuviera entonces su lado positivo, ya que se contraponía al concepto de los fines de Dios, que creó los órganos para desempeñar funciones determinadas. Saint-Hilaire defendía el "principio de la *interacción*" o "*ley de las relaciones mutuas entre los órganos*", que determina la situación, las relaciones y la dependencia de las partes del cuerpo de los animales. El órgano puede aumentar o disminuir, incluso desaparecer, pero no puede trasladarse. Geoffroy Saint-Hilaire afirma que la situación de unos órganos respecto a los otros debe ser el único criterio para comparar diferentes animales. Los criterios valorativos de las funciones y la forma del órgano no son satisfactorios en las investigaciones de Anatomía comparada, ya que órganos del mismo origen (homólogos) pueden realizar funciones diferentes y, por el contrario, se da frecuentemente el caso que la misma función la ejecuten órganos de distinto origen (análogos). Por lo tanto, Saint-Hilaire introduce el concepto de la homología de los órganos (el término es de origen posterior), que constituye la base de la Anatomía comparada. La ley de las relaciones mutuas entre los órganos está ligada a la segunda ley de Saint-Hilaire, que él llamaba principio del "*equilibrio de los órganos*". Según esta ley, los órganos se encuentran en el interior del organismo en un equilibrio determinado; las relaciones entre ellos consisten en que los cambios en uno de los órganos producen cambios en los otros; por ejemplo, el aumento y el fortalecimiento de un órgano origina la disminución y la regresión de otro.

Saint-Hilaire analiza detenidamente las partes óseas del aparato respiratorio en individuos de diferentes clases de vertebrados, todas las modificaciones de estos huesos y también la estructura de la columna vertebral, del cráneo y de las extremidades, descubriendo que su constitución es, en líneas generales, idéntica.

Geoffroy Saint-Hilaire.

Una circunstancia muy importante es que Saint-Hilaire utiliza las investigaciones *embriológicas* como método auxiliar para establecer las relaciones entre los organismos.

Por ejemplo, al comparar las cabezas de un mamífero adulto y de un pez acantopterigio no es posible descubrir en el cráneo del mamífero muchos de los huesos que aparecen en el del pez. Entonces, Saint-Hilaire compara los embriones de las formas estudiadas y establece una semejanza indiscutible entre los cráneos de los mamíferos, las aves, los reptiles y los peces.

Basándose en sus investigaciones embriológicas y anatómicas, Saint-Hilaire llega a su conclusión fundamental sobre la *unidad del plan estructural* de todos los vertebrados. El primer tomo de su gran obra *Filosofía de la Anatomía* tiende a demostrar la unidad estructural de los vertebrados.

El principio de Saint-Hilaire —la unidad estructural de los vertebrados— era progresivo y permitió llegar a una serie de valiosos descubrimientos. Por ejemplo, el gran zoólogo logró descubrir, basándose en este principio, vestigios de dientes en las mandíbulas de los embriones de las ballenas y de las aves y dio una apreciación acertada de los órganos rudimentarios (la membrana nictitante del ojo de los mamíferos, rudimento de un tercer párpado; el ala embrionaria del casuario, etc.). La aplicación del método embriológico de investigación permitió a Saint-Hilaire desarrollar en la ciencia una nueva rama, la *Teratología*, el estudio de las anomalías del organismo; mostró experimentalmente que las anomalías son resultado de condiciones anormales de desarrollo, y modificando las condiciones de embriogénesis de los animales logró producir una u otra anomalía.

Saint-Hilaire demostró que la mayoría de las anomalías están relacionadas con la paralización en el desarrollo de ciertas partes del cuerpo, y que algunas de ellas se deben a la fusión de órganos. Consideraba que la *fusión se produce únicamente entre órganos de igual naturaleza.*

El segundo tomo de la *Filosofía de la Anatomía* está dedicado a la Teratología y constituye, sin duda, una parte positiva de los trabajos de Saint-Hilaire.

Saint-Hilaire quiso extender a *todo el reino animal* sus conclusiones sobre la unidad estructural de los vertebrados, es decir, considerar iguales los planos estructurales de los artrópodos y moluscos y los vertebrados (figura 135). Así dio rienda suelta a su fantasía y llegó incluso a decir cosas absurdas.

La estructura de los artrópodos se diferencia considerablemente de la de los vertebrados: por ejemplo, los vertebrados tienen el corazón en posición ventral y el sistema nervioso dorsal: por el contrario, los artrópodos tienen el corazón en la parte dorsal y el sistema nervioso en la ventral; esto ofrece grandes dificultades para establecer su unidad estructural. Para superarlas, Saint-Hilaire da la vuelta al vertebrado y lo pone de espaldas. Entonces los sistemas principales de órganos resultan igualmente situados en los vertebrados y los artrópodos. Esto le permite afirmar que los artrópodos son también vertebrados a quienes se les ha dado la vuelta. Los tegumentos quitinosos de sus segmentos los compara con vértebras a las que se haya invertido. Según Sant-Hilaire, los artrópodos andan mediante costillas que salieron a la superficie. Veía en la sepia un vertebrado doblado por la mitad, etc. Opinaba que todas las formas del reino animal son variaciones infinitas de los vertebrados.

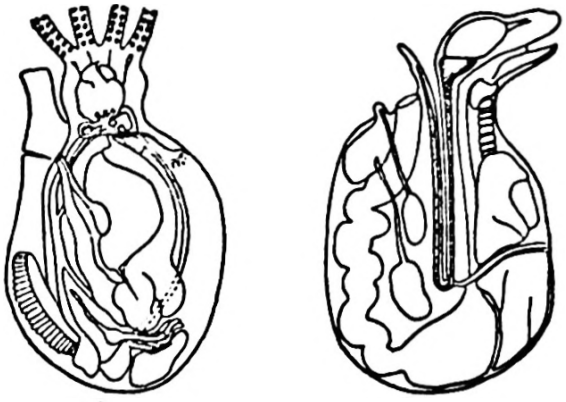


FIG. 315. Esquema de la noción de Geoffroy Saint-Hilaire sobre la unidad del plano estructural: *a*, molusco; *b*, perro.

La idea de la unidad estructural no podía por menos de conducir a su autor, en última instancia al *transformismo;* las especies son transformaciones de una forma principal y única. Saint-Hilaire veía la causa de las transformaciones en las relaciones del organismo con el medio en que vive. Atribuía gran importancia al factor tiempo. Saint-Hilaire escribió que el medio ambiente desempeña gran papel en el cambio de forma de los cuerpos organizados. Estos cambios no son muy estables si se trata únicamente de un período de años. Pero si admitimos que en lugar de años se trata de siglos, los cambios de las formas orgánicas serán más profundos y estables.

Saint-Hilaire hablaba también de la *extinción de las formas no adaptadas*. Opinaba que si los cambios ocurridos producen resultados perjudiciales, los animales en que tales cambios se han producido perecerán, siendo sustituídos por otras formas cuyos cambios correspondan a las nuevas condiciones de existencia.

Saint-Hilaire habla también de las correlaciones, es decir, de los cambios secundarios en los órganos o en los caracteres del animal (por ejemplo, el aumento de longitud del pelo está relacionado con el alargamiento de los cuernos, etc).

Es muy interesante la idea de Saint-Hilaire cacrca de los *cambios* que se producen en el *período embrionario*. En esta cuestión parte de su experiencia en la producción artificial de anomalías. Considera que el cambio de una especie animal en otra puede producirse en el período de desarrollo embrionario, cuando el organismo es muy sensible a las influencias exteriores.

Los puntos de vista de Saint-Hilaire no representan en modo alguno un sistema evolutivo. Su interpretación de la unidad estructural de los organismos era metafísica y reducía toda la variedad de formas al plan estructural de los vertebrados.

Ahora bien, Saint-Hilaire reunió gran cantidad de datos concretos y manifestó ideas progresivas que contribuyeron al avance de las ideas evolucionistas.

Georges Cuvier

Cuvier fue también profesor del Jardín Botánico de París y ocupó durante mucho tiempo el cargo de Secretario de la Academia de Ciencias. A diferencia de Lamarck y Saint-Hilaire, era *enemigo de la teoría de la mutabilidad de las especies y de las ideas evolucionistas*. Sin embargo, el cúmulo de materiales que logró reunir en diferentes esferas del saber humano ayudaron al progreso de las ideas evolucionistas, proporcionándoles una nueva base.

Georges Cuvier.

Cuvier escribió importantísimos trabajos sobre Anatomía comparada, Zoología sistemática y Paleontología.

La base de todos los trabajos de Cuvier es el principio de la *"correlación de las partes del organismo"*, muy próximo al principio del "equilibrio de los órganos" de Saint-Hilaire; uno y otro fueron enunciados simultáneamente.

Partiendo del principio de la correlación, Cuvier señala que cualquier ser constituye un sistema cerrado, cuyas partes se corresponden unas a otras. Ninguna de ellas puede modificarse sin que las otras lo hagan. Por eso, basándose en cualquiera de las partes, se puede juzgar sobre las restantes. El concepto de correlación no lo limita Cuvier a dependencias morfológicas, sino que habla también de relaciones fisiológicas.

El principio de la correlación de los órganos se desprende lógicamente de la relación del organismo con sus condiciones de existencia. Sin embargo, la orientación metafísica de Cuvier le impedía explicar de una manera acertada la ley de la correlación. Cuvier consideraba que la *relación entre las partes del organismo es constante, invariable*. Era expresión de una total armonía, creada por Dios.

El fenómeno de la adaptación a la naturaleza lo enfocaba Cuvier desde posiciones teleológicas, idealistas. Veía la causa de la correlación en la existencia de objetivos finales, prescritos por el Creador.

Sin embargo, a pesar de su interpretación metafísica, la ley de la correlación de Cuvier desempeñó un papel muy progresivo en la ciencia. Este principio sirvió de base para la clasificación de los animales.

Cuvier veía el caracter más importante para construir las categorías sistemáticas superiores en la *estructura del sistema nervioso*.

De acuerdo con este caracter, Cuvier dividió todo el reino animal en cuatro grupos o tipos.

1. Vertebrados (Vertebrata), cuyo sistema nervioso consta de médula espinal y de cerebro, con sus ramificaciones.

2. Moluscos (Mollusca), cuyo sistema nervioso está formado por haces nerviosos concentrados en diferentes lugares del cuerpo, con ramificaciones que parten de ellos.

3. Artrópodos (Articulata), con una cadena nerviosa doble a lo largo de la cara ventral de su cuerpo segmentado.

4. Radiados (Radiata), que tienen el sistema nervioso colocado radialmente.

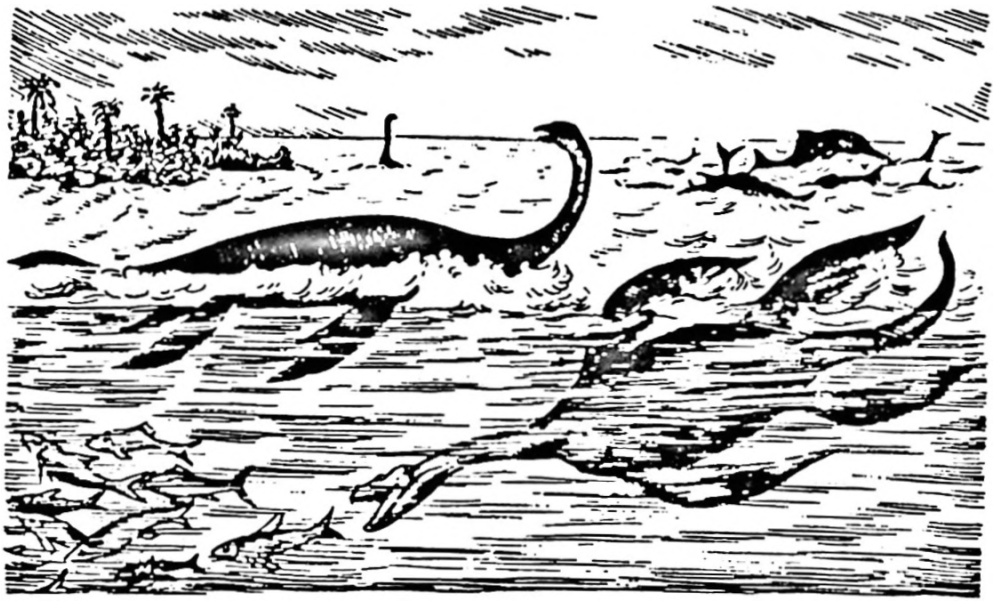


FIG. 316. Reconstrucción de reptiles fósiles acuáticos: plesiosauros e ictiosauros (en segundo plano).

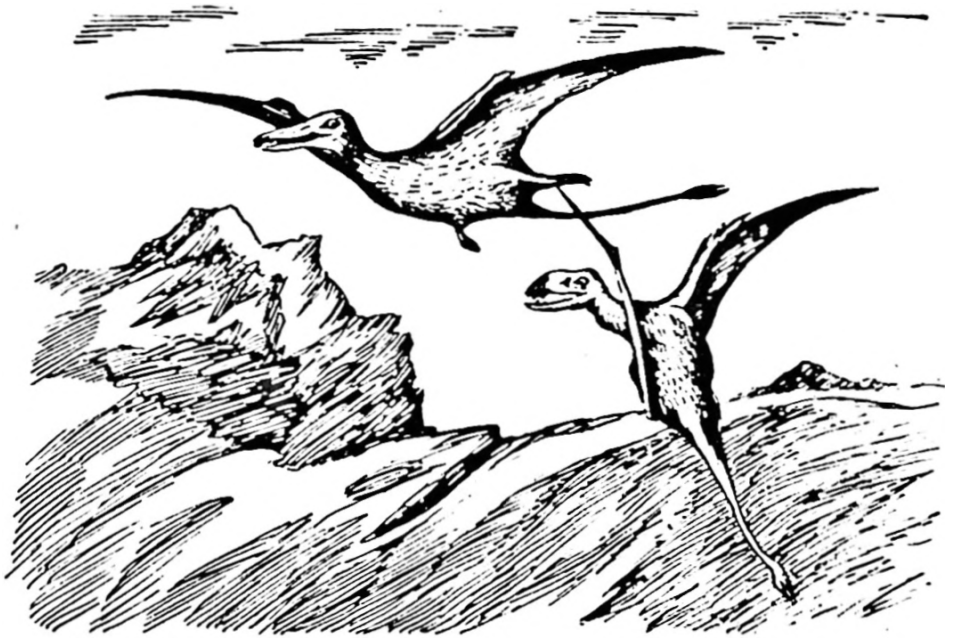


FIG. 317. Probable aspecto de dos especies de pterodáctilos jurásicos.

Cuvier consideraba que cada uno de los mencionados grupos de animales representa un *sistema completamente cerrado*, que no está ligado en absoluto a otros grupos.

Cuvier fue uno de los más importantes fundadores de la Geología y la Paleontología.

El principio de la correlación de las partes ha jugado un gran papel en Paleontología. Hallazgos de huesos aislados han permitido determinar la estructura de todo un animal fósil, e incluso averiguar su modo de vida.

Cuvier escribía: "...Ahora, si alguien ve tan sólo las huellas de un cuadrúpedo, podrá deducir que el animal que dejó las huellas era rumiante...

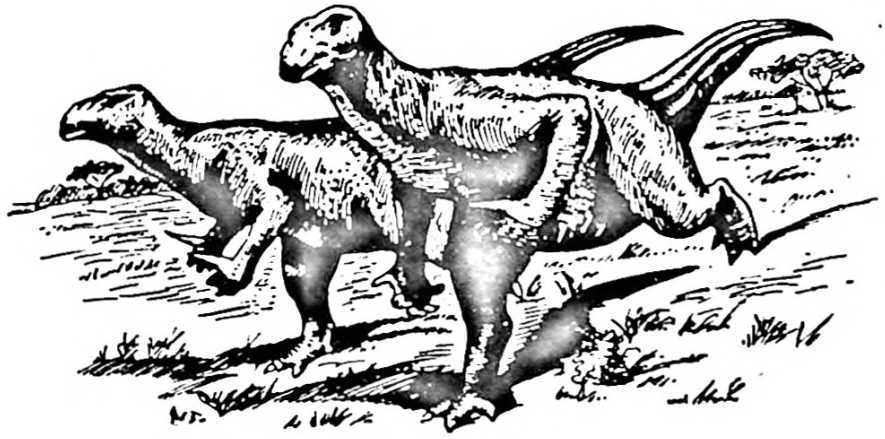


FIG. 318. Reconstrucción de dos iguanodontes corriendo.

Una huella revela al observador la forma de los dientes, de la mandíbula, de las vértebras, de todos los huesos de las patas, del hombro y de la pelvis del animal que acaba de pasar"[1].

Describió más de 150 especies de animales extinguidos. A Cuvier le corresponde el descubrimiento y la reconstitución de muchas e interesantes formas de reptiles fósiles: ictiosauros, plesiosauros (fig. 316), pterodáctilos (fig. 317) e iguanodonte (fig. 318); describió también numerosos peces, aves y mamíferos fósiles.

Sus extensas excavaciones en los alrededores de París llevaron a Cuvier a la conclusión de que los animales y las plantas que habitaron la Tierra en las épocas geológicas pasadas se diferenciaban notablemente de la población actual. Nuevas especies habían sustituido a los antiguos habitantes de la Tierra.

Una sección esquemática de la corteza terrestre podría demostrar, según Cuvier, el constante cambio de formas de vida en la Tierra, el cuadro de la complicación paulatina de la organización de los animales, desde los tiempos más remotos hasta la época actual Cuvier describe este cambio de formas. Señala que en las épocas más antiguas existían únicamente invertebrados primitivos, crustáceos, moluscos, etc. Después aparecieron peces de organización primitiva; a continuación los primeros cuadrúpedos terrestres, los reptiles. Más recientemente aún se observa un predominio de reptiles que dominaron toda la tierra firme. Luego aparecieron los primeros mamíferos, de pequeñas dimensiones, y por último, en los sedimentos geológicamente más modernos, Cuvier encontró numerosos restos de mamíferos, lo que demuestra su gran expansión. Las investigaciones posteriores han confirma-

[1] G. Cuvier, *Reflexiones acerca de los cataclismos acaecidos en la superficie terrestre*, 1937, pág. 134.

do, en lo fundamental, el cambio de fauna en las eras y períodos de la historia de la Tierra, tal como Cuvier lo describió.

Por tanto, las investigaciones anatómicas y paleontológicas de Cuvier y, sobre todo, el hecho establecido por él de los cambios de fauna paralelos a los cambios de los períodos geológicos, sirvieron de base a la teoría evolucionista.

Cuvier no sacó de sus descubrimientos conclusiones evolucionistas. Al contrario, repetía obtinadamente que las especies son constantes y no pueden proceder una de otra. "Las especies antiguas —escribía— eran tan constantes como las nuestras."[1]

Para explicar el cambio consecutivo de las faunas y las floras en la Tierra, recurrió a la teoría de los cataclismos.

Según esta teoría, de tiempo en tiempo, en diferentes puntos de la Tierra tuvieron lugar enormes cataclismos que destruyeron por completo el reino animal y vegetal.

Después aparecieron nuevas formas, que no tenían la menor relación con las que existían antes. Estos cataclismos acaecieron, según Cuvier, "...de modo inesperado, momentáneamente, sin ninguna graduación".[2] Y añade: "... yo no digo que hiciera falta una nueva creación para producir las especies que viven actualmente; sólo digo que no existían en los lugares en que las vemos ahora y que tuvieron que llegar de otros"[3] Era de la opinión que los cataclismos no se producían a la vez en toda la Tierra.

Los discípulos de Cuvier, D'Orbigny y Agassiz, como desarrollo lógico de la teoría de los cataclismos, enunciaron la teoría de los actos creadores sucesivos. Por tanto, la teoría de los cataclismos de Cuvier trata de conciliar la Paleontología con la Biblia. Revolucionaria en cuanto a su forma, es *profundamente reaccionaria* por su contenido.

Lucha entre las concepciones creacionistas y transformistas en Francia.

Durante toda su vida, Cuvier fue un enemigo irreductible de la idea evolucionista. A Lamarck lo consideraba como un fantaseador.

Con toda la fuerza de su prestigio Cuvier arremetió contra la tesis expuesta por Saint-Hilaire sobre la unidad de organización de los animales. Como resultado de ello, en 1830 se entabló entre ambos científicos una controversia que ocupó varias reuniones de la Academia de Ciencias. Esta controversia fue ampliamente comentada por la prensa y atrajo el interés de la opinión pública.

La controversia giraba alrededor de problemas morfológicos. Sirvió de motivo un trabajo de los discípulos de Saint-Hilaire en que trataban de demostrar que los cefalópodos son vertebrados modificados.

Las tesis de Saint-Hilaire eran erróneas. Quería reducir la gran variedad de formas del reino animal a variaciones estructurales del tipo superior, los vertebrados. Para explicar la unidad del plan recurría a la "unidad de la idea creadora", es decir, interpretándola con un criterio teológico. Desde este punto de vista, la discusión entre Saint-Hilaire y Cuvier no era en realidad

[1] G. Cuvier, *Reflexiones acerca de los cataclismos acaecidos en la superficie terrestre*, 1937, pág. 144.
[2] Ibídem, pág. 82.
[3] Ibídem, pág. 150.

la pugna de la idea evolucionista contra la teoría del creacionismo (actos creadores). Sin embargo, Saint-Hilaire defendía la idea de la mutabilidad de las especies animales y la importancia del medio exterior en esta mutabilidad, idea que es la premisa necesaria para el desarrollo de la teoría evolucionista.

Esta fue precisamente la causa de la saña con que Cuvier atacó las concepciones de Saint-Hilaire.

En lugar del plan único estructural de Saint-Hilaire, Cuvier presentó cuatro planes en la estructura de los animales. Para fundamentar la teoría de los tipos partía de sus investigaciones de Anatomía comparada.

La controversia dio como resultado el *reconocimiento de la teoría de los tipos* de estructuración del reino animal de Cuvier. Fue un gran triunfo de la Zoología sistemática. Sin embargo, su aspecto negativo fue la *afirmación del punto de vista metafísico de los tipos estructurales* como algo aislado que no constituye un sistema, es decir, el triunfo de la concepción metafísica sobre las ideas del transformismo.

La discusión atrajo la atención de los científicos hacia los problemas de la Anatomía comparada y contribuyó a impulsar las investigaciones en este sentido.

Exitos de la escuela embriológica rusa.

Fue el académico ruso *K. M. Ber* (1792-1876) quien en sus trabajos de Embriología comparada fundamentó ampliamente la teoría de los tipos estructurales del reino animal.

Ber considera que el plan de estructura es la relación que existe en la distribución de los elementos orgánicos y los órganos, es decir, que para él la base del concepto de tipo no radica únicamente en lo que tiene de específico este o aquel sistema de órganos, sino también en su *topografía*, su *aparición* y su *desarrollo*. Por lo tanto, la división en tipos viene determinada no sólo por la Anatomía comparada sino también por la Embriología comparada.

Ber estableció que a cada tipo de organismo corresponde un tipo de desarrollo. El concepto de tipo es en Ber más amplio y más profundo que en Cuvier.

Ber, lo mismo que Cuvier, hablaba de cuatro planes estructurales y, de acuerdo con ello, de cuatro tipos dentro del reino animal. Partiendo de las bases establecidas por Ber, las clasificaciones contemporáneas presentan más tipos de animales.

Ber reconocía en los tipos cierto aislamiento formal, pero no afirmaba que estén completamente aislados unos de otros. Habla de la existencia de formas de transición, que poseen los rasgos de los tipos principales.

Ber prosiguió y amplió las investigaciones de sus antecesores, los académicos petersburgueses Wolff y Pander, los cuales habían demostrado que el desarrollo del animal es una transformación, un paso de lo simple a lo complejo en el proceso de formación. Ber fue quien descubrió el notocordio del embrión de los vertebrados.

Comparando el desarrollo embrionario de diferentes animales, Ber señaló que en las etapas más tempranas los embriones de todos los animales muestran una *semejanza* tanto mayor cuanto menor es la edad de dichos embriones. El mayor parecido lo ofrecen en una de las primeras etapas de

su desarrollo, en el estado vasicular del embrión (blástula, según la terminología actual).

Cuando el embrión continúa su desarrollo, aparecen primero los caracteres del tipo, después se van formando los de la clase, el orden, la familia y, por último, del género y la especie. En último término, se diferencian los rasgos individuales de cada ejemplar.

Basándose en sus observaciones, Ber llegó a las siguientes conclusiones:

1. *En cada uno de los grandes grupos animales, lo general se forma antes que lo específico.*

2. *De lo más común se forma en la organización lo menos común, hasta que aparece lo más especializado.*

Las investigaciones de Ber enfocan de una manera nueva el problema de la unidad del reino animal. Sus trabajos mostraron, sin dejar lugar a dudas, que los embriones de los animales parten al comienzo de su desarrollo de la base común, para después, al irse desarrollando en diferentes sentidos, diferenciarse más y más en sus caracteres. Después de las investigaciones de Ber era necesario, para determinar el lugar de una u otra forma animal en el sistema, estudiar, ante todo, las etapas tempranas de su embriogénesis. Se comprobó que los rasgos característicos de las primeras etapas de desarrollo embrionario son sistemáticamente los más importantes. Estos rasgos *sirvieron de base para perfeccionar el sistema natural de los animales* y se utilizaron para establecer el parentesco entre los distintos organismos, si bien, al principio, esto se hacía sin relacionarlo con la idea evolucionista.

De los trabajos de Ber se desprende también la idea de la semejanza entre las fases de desarrollo embrionario de los animales superiores y de los de organización inferior.

El mismo Ber trataba esta cuestión con suma cautela, protestando contra las conclusiones excesivamente extremas de los alemanes Kielmeyer, Meckel y Tiedemann, particularmente contra la afirmación hecha por este último de que la rana atraviesa en su desarrollo las fases de los gusanos segmentados, los moluscos y los peces. Ber llegó a la conclusión categórica de que, en su fundamento, el embrión no *se parece* nunca *a otra forma animal (adulta), sino únicamente a su embrión.* Con esto, Ber sentó las bases para la interpretación científica contemporánea de la ley biogenética.

Ber no niega la mutación de las especies. Este cambio tiene lugar, según su opinión, como resultado de la acción continua de las condiciones externas, que se continúan en la serie consecutiva de generaciones, es decir, mediante la herencia de los caracteres adquiridos.

Subraya que los *cambios casuales no son hereditarios*: "Los cambios producidos por azar o por una acción externa repentina no modifican en lo más mínimo el tipo general de descendencia. Y al contrario, toda desviación de la norma que se presente al formarse el individuo, se transmitirá después por herencia"[1].

Para resolver el problema de la mutabilidad de las especies, Ber utiliza los datos que ofrecen la domesticación de animales, la Taxonomía, la Biogeografía, la Embriología, la Anatomía comparada y la Paleontología; es decir, todo lo que después permitió a Darwin resolver el problema de la evolución. Ber plantea el problema con amplitud, pero lo resuelve como un *evolucionista indeciso.* Admite la transformación y el origen común de

[1] K. Ber, *Obras escogidas*, pág. 105.

las categorías sistemáticas *inferiores,* las especies y los géneros, pero *no extiende* este concepto *a los grupos taxonómicos superiores.* La insuficiencia de los datos paleontológicos se le imaginaba un serio obstáculo para admitir el origen común de todos los organismos vivos. En lo que respecta a su concepción del mundo, Ber no era materialista. No supo emanciparse de las concepciones idealistas propias de su siglo.

Sin embargo, las obras de Ber sirvieron de base para descubrir la relación existente entre los tipos del reino animal. El método embrionario lógico comenzó a utilizarse ampliamente para establecer las relaciones naturales entre las distintas formas y llevó al descrédito más completo la tesis de Cuvier acerca de los tipos del reino animal como sistemas limitados y aislados.

La obra fundamental de Ber, *Historia del desarrollo de los animales* (1828) fue objeto de grandes elogios tanto por parte de sus contemporáneos como de las generaciones posteriores.

Así pues, de nuevo se volvía a plantear en la ciencia el problema de la unidad de organización del reino animal, aunque ya sobre la base de datos completamente científicos, obtenidos por la escuela embriológica rusa.

Teoría del uniformismo en Geología.

En 1830, es decir, el mismo año en que en la controversia de la Academia de Ciencias de París parecía haber dado definitivamente el triunfo a la concepción metafísica de Cuvier, aparece el libro del inglés *Charles Lyell* (1797-1875) *Fundamentos de la Geología.* Gracias a esta obra, las ideas sobre la historia de la Tierra expuestas por M. V. Lomonósov, y después por Lamarck, adquirieron una base sólida. Lyell manejó gran cantidad de datos para demostrar que todos los cambios ocurridos en la superficie terrestre en diferentes períodos geológicos, los pueden explicar fácilmente los factores que actúan en la actualidad. Para ello no es necesario recurrir a condiciones especiales como son los cataclismos de Cuvier. Todos los cambios que se han sucedido en la Tierra durante los millones de años de su historia se deben a la acción de la atmósfera, los ríos, arroyos, corrientes marítimas y erupciones volcánicas.

La acción prolongada de todos estos factores ha producido en la superficie terrestre los cambios que conoce la Geología.

Esta teoría se conoce con el nombre de *teoría del uniformismo o de las causas actuales.* Esta teoría acabó con la de los cataclismos de Cuvier y contribuyó al triunfo de las ideas evolucionistas en las Ciencias Naturales. Sin embargo, las concepciones del propio Lyell pecaban de cierto carácter metafísico, según indica Engels. Engels escribía que, de acuerdo con Lyell, la Tierra no se desarrolla en un sentido determinado, sino que cambia de un modo incoherente.

En este aspecto, las ideas de Lyell eran menos progresivas que las expuesacerca de esta cuestión por Lomonósov y Lamarck.

Lyell reconocía los cambios paulatinos de la naturaleza inorgánica, que se sucedieron durante los períodos geológicos, pero no extendió sus conclusiones a los organismos vivos. No negaba que bajo la acción de los cambios operados en las condiciones de existencia, las especies animales y vegetales pueden modificar los caracteres que tengan relación con los que estas formas

imponen. Sin embargo, no creía que estos caracteres tuvieran importancia para la taxonomía, y por eso opinaba que el principio de la constancia de las especies permanecía en pie.

Sin embargo, la teoría del uniformismo de Lyell dio un gran impulso a los investigadores hacia el concepto evolucionista de la naturaleza.

El sistema natural.

A fines de la primera mitad del siglo XIX, la Botánica y la Zoología disponían ya de un gran cúmulo de datos ordenados en un sistema natural y armónico.

La tendencia a un sistema natural se dibujaba hacía ya tiempo en las obras de muchos hombres de ciencia; mas el primer intento de crear el sistema natural de las plantas pertenece sin duda al francés *Bernard Jussieu* (1699-1777) y a sus discípulos. Su clasificación de las plantas no se basaba en un carácter elegido al azar, sino en una serie de ellos, teniendo en cuenta el diferente valor que los distintos caracteres representan para la clasificación. Uno de los que se consideraban más importantes era el número de cotiledones. Todas las plantas conocidas fueron agrupadas en *familias*, grupos que no se diferenciaban rígidamente unos de otros, y se colocaban en una serie ascendente desde las inferiores hasta las superiores. En la descripción de cada familia se indicaban también las relaciones indirectas con otras.

A pesar de que esta clasificación es más natural que todas las anteriores, también desconoce el principio del desarrollo.

Jussieu partía en sus esquemas de posiciones metafísicas. Para él, "natural" significaba lo dado por la naturaleza, "parentesco", solamente semejanza. Los botánicos franceses de este período (a excepción de Lamarck) no planteaban la cuestión de la comunidad de origen de las formas taxonómicamente próximas. No obstante, dieron un gran paso hacia la creación del sistema natural.

En el desarrollo del sistema natural de las plantas fueron los trabajos del científico ruso Pavel Fédorovich *Goriáninov*, profesor de la Academia Médico-Quirúrgica y renombrado médico, botánico y farmacólogo, los que jugaron un papel decisivo. Goriáninov estableció el principio histórico como base del ssitema natural. Fue él quien enunció los fundamentos de la *clasificación natural científica y contemporánea de los vegetales*. En ella no consideraba decisivo, como hacía Jussieu, el número de cotiledones. Modificó el lugar y la amplitud de muchos grupos del sistema de Jussieu e introdujo una serie de novedades en la nomenclatura. Gariáninov fue el primero en señalar la equivalencia funcional de las esporas con el polen, de los esporangios con las anteras y los óvulos de las plantas, etc.

Sus conclusiones se basan en el estudio de la naturaleza, de las colecciones, del material de los museos y de un conocimiento profundísimo de las obras publicadas en todo el mundo.

Las bases de la taxonomía natural de los animales fueron obra de Lamarck; luego encontraron un gran apoyo en los trabajos de K. M. Ber.

Desarrollo de la Biogeografía y de la Ecología.

Con el desarrollo del capitalismo aumentó el número de expediciones dedicadas al estudio de las riquezas naturales de diferentes países, lo que permitió comparar en el espacio los reinos animal y vegetal. A su vez, las excavaciones permitieron su comparación en el tiempo. Así, la Botánica y la Zoología avanzaban a la par que la Geografía, la Ecología y la Paleontología.

En la primera mitad del siglo XIX, se fundó la Sociedad Geográfica Rusa, que sigue existiendo en la actualidad. Las obras de esta Sociedad han contribuido en alto grado al progreso de las Ciencias Naturales. Ber, por ejemplo, dirigió durante su vida decenas de expediciones, tanto dentro de Rusia, como en otros países.

Entre los naturalistas geógrafos del siglo XIX es necesario recordar a Petr Petróvich Semiónov-Tian-Shanski (el nombre de Tian-Shanski se le dio por su famosa expedición al Tian-Shan, donde hasta él no había pisado la planta de ningún europeo). La expedición de Semiónov al Tian-Shan permitió grandes descubrimientos científicos. Estudió los problemas relacionados con el proceso orogénico, la geología del Tian-Shan, y reunió valiosas colecciones geológicas, un enorme herbario y colecciones de insectos y moluscos. Semiónov realizó otras muchas expediciones para estudiar la flora, la fauna, la geología y la geografía de Rusia. Fue el inspirador de numerosas expediciones, llevadas a cabo después por los famosos naturalistas rusos Przhevalski, Potanin, Kroptokin, Miklujo-Maklai y otros.

En Rusia surgió y alcanzó gran impulso una nueva rama de la Zoología, la *Ecología.*

La desarrolló en sus trabajos el gran zoólogo ruso *K. F. Rulié* (1814-1858) médico de carrera y catedrático de la Universidad de Moscú.

El continuador de la obra de Rulié fue su discípulo *N. A. Séverstov* (1827-1885).

Séverstov llevó a cabo muchas expediciones, pero se destacó especialmente como investigador del Turquestán. Fue un gran ornitólogo y zoogeógrafo, de renombre mundial. Su colección de aves alcanzaba a 12.000 ejemplares. Logró agrupar en una sola obra los trabajos de los científicos ingleses dedicados al estudio de la fauna del Asia Anterior y Meridional y las investigaciones rusas de Europa Oriental y Siberia Occidental.

Basándose en estos materiales, Séverstov expuso un completísimo cuadro de la fauna del Asia Septentrional y Central. Los datos por él ofrecidos acerca de las modificaciones de las aves, llamaron la atención de Darwin y le sirvieron de apoyo a su teoría.

Las obras de Séverstov abrieron nuevas sendas, ya que la ciencia mundial no conocía hasta entonces trabajos semejantes a sus investigaciones ecológicas.

La dirección adoptada por los zoólogos rusos fue de un carácter totalmente innovador y progresivo, ya que en el período predarviniano la Botánica y la Zoología eran ciencias puramente descriptivas. Los científicos rusos no se limitaron a describir la vida del animal o vegetal, sino que trataron de explicarla en su vínculos con la situación natural.

El estudio de los organismos en el espacio y en el tiempo, relacionando ambos conceptos entre sí y con las condiciones del medio ambiente, condujeron hasta la idea misma de la evolución.

LUCHA DE LOS CIENTIFICOS AVANZADOS RUSOS POR EL MATERIALISMO EN LAS CIENCIAS NATURALES Y SUS IDEAS EVOLUCIONISTAS

A fines de la primera mitad del siglo XIX, se habían logrado grandes éxitos en todas las esferas de la Biología. La teoría celular estableció un puente entre los reinos animal y vegetal, haciendo del mundo orgánico un todo único. Los trabajos de síntesis de sustancias orgánicas (F. Wochler, N. N. Zinin y A. M. Bútlerov) llenaron en cierto modo el vacío que existía entre la naturaleza orgánica y la inorgánica, mostrando que las leyes de la Química eran aplicables a las sustancias orgánicas. Todo ello ofrecía valioso material para una teoría científica del desarrollo. Sin embargo, aún se mantenía firme en la ciencia la concepción metafísica, que se apoyaba en la religión y era sostenida por los círculos gobernantes. Sin hablar de los discípulos de Cuvier (d'Orbigny y Agassiz), cuyas teorías eran extremadamente reaccionarias, incluso los investigadores europeos más progresivos, entre los que figura el reformador de la Geología, Lyell, mantenían las ideas metafísicas tradicionales en cuanto a la evolución del mundo orgánico. La teoría de Lamarck —el único evolucionista— fue acogida con hostilidad por sus contemporáneos y no encontró apoyo.

Pero entre los científicos progresivos del mundo se dejaba ya sentir el descontento con las viejas ideas metafísicas. Crecía la tendencia a superar el simple empirismo, característico de la ciencia de aquel entonces, y llegar a determinadas conclusiones. Esta aspiración halló su expresión en los avances de la *filosofía de la naturaleza,* cuya cuna fue Alemania. Su fundador, F. Schelling, expuso numerosas e interesantes ideas sobre la unidad de la naturaleza, las diferencias cualitativas entre lo vivo y lo no vivo, sobre las relaciones entre el organismo y el medio, etc. Todo ello atrajo la atención de muchos investigadores. Sin embargo, estas ideas de Schelling partían de una base idealista. La naturaleza era para él un pensamiento yerto; la vida existía con anterioridad a los seres vivientes; identificaba la calidad de las cosas con las sensaciones. Otro conocido representante de la filosofía de la naturaleza en Alemania fue Oken. En Inglaterra esta corriente la representaba el abuelo de Carlos Darwin, Erasmo Darwin. Los filósofos de la naturaleza enunciaron una serie de conjeturas geniales, anticipo de los futuros descubrimientos científicos. Mas la filosofía de la naturaleza, al no disponer de suficientes datos concretos, los despreciaba e intentaba dar una idea de la naturaleza basándose únicamente en hipótesis abstractas y conjeturas de carácter especulativo.

Los filósofos de la naturaleza partían, lo mismo que Saint-Hilaire, de la idea de un plan de estructuración único, que la naturaleza varía en las distintas formas orgánicas. Dotaban al organismo de una fuerza vital inmaterial específica. En su conjunto, sus puntos de vista eran una mezcla de *conceptos mecanicistas e idealistas.* Ello no tenía, naturalmente, nada de común con el concepto materialista histórico acerca de la transformación de las especies como desarrollo de lo simple a lo complejo.

Como ya hemos observado, en Rusia se impuso la *orientación materialista experimental.* Los intentos de algunos científicos rusos partidarios de la corriente "occidental", como el académico D. M. Vellanski, de aplicar las doctrinas de Schelling al terreno ruso fracasaron. La ciencia rusa era contraria a la tendencia especulativa e idealista occidental, por ser extraña a su espíritu.

Iustin Evdokimovich Diadkovski (1784-1841), catedrático de la Universidad de Moscú, notable médico y filósofo, continuando la tradición de Lomonósov *hizo objeto de una severa crítica a las escuelas especulativas e idealistas de la filosofía natural.* Fue el heraldo de las ideas materialistas en Historia Natural y se mostró como adversario decidido del vitalismo. Polemizó con Erasmo Darwin y otros partidarios de la filosofía de la naturaleza, que intentaban dotar al mundo de un "espíritu vital" o de las ideas de la "vida general". La materia misma, afirmaba, posee el principio y el fundamento de todos los procesos y fenómenos que tienen lugar en el universo.

Diadkovski consideraba la naturaleza en su desarrollo. Afirmaba que el mundo orgánico se originó a partir del inorgánico. Las especies cambian y se transforman. La influencia recíproca entre las sustancias orgánicas e inorgánicas era para él el motor que hace avanzar el mundo orgánico. Es decir, que estudiaba los organismos en relación con las condiciones de vida y mantenía que los cambios en la alimentación, el clima y el modo de existencia son las causas principales de la mutabilidad.

Sus concepciones teóricas generales las aplicó Diadkovski en su actividad como médico. Prestaba gran atención a la *anamnesia de las condiciones de vida* y distinguía la curación *profiláctica* y la curación *de restablecimiento.* Diadkovski fue uno de los primeros en señalar el papel del sistema nervioso en la clínica y la patología.

K. F. Rulié.

Diadkovski gozaba de gran prestigio entre sus discípulos e influyó profundamente en la formación de las ideas científicas de toda una generación de intelectuales rusos. A. I. Herzen y V. G. Belinski citan repetidas veces en sus cartas a Diadkovski. Herzen hablaba de las ideas de Diadkovski, contraponiéndolas a las tendencias idealistas. Discípulos suyos fueron K. F. Rulié, I. T. Glólov —profesor de Herzen y de Séchenov—, catedráticos de la Universidad de Moscú, y otros famosos científicos rusos.

K. F. Rulié, del que hablábamos ya como uno de los que introdujeron la Ecología en la Zoología, llegó a la idea de la evolución, fundamentalmente, gracias a sus trabajos sobre Ecología y Paleontología.

Esta idea preside todas sus obras de Zoología, sus artículos, sus lecciones y conferencias públicas.

Rulié critica las posiciones teleológicas y metafísicas de Cuvier, pero tampoco sigue a Saint-Hilaire. Expone una concepción original. En sus obras podemos hallar elementos de una interpretación dialéctica de las relaciones existentes en la naturaleza y de una visión histórica del desarrollo del mundo orgánico.

Rulié estudia los organismos relacionándolos entre sí y con las condiciones de la naturaleza inorgánica. Ve la naturaleza como un todo, cuyos componentes están, dentro de su pluralidad, unidos entre si orgánicamente y no pueden existir sin este nexo.

La naturaleza no conoce reposo: los cambios y las transformaciones constituyen las bases del proceso vital.

La variabilidad de las formas orgánicas depende, según Rulié, de dos categorías de causas: de la naturaleza del organismo y de las condiciones exteriores, fundamentalmente del clima y de la situación geográfica.

P. F. Goriáninov.

Las modificaciones producidas en la organización de los animales al cambiar las condiciones, son para Rulié *hereditarias*. Analiza el problema de los cambios que se producen en los animales al domesticarlos, llegando a la conclusión que la modificación de sus caracteres y propiedades se debe a la variación de condiciones de vida. En el transcurso de varias generaciones, descendientes de la misma pareja que hayan vivido en condiciones diferentes se diferenciarán notablemente en sus caracteres. Rulié hace resaltar el *papel activo del hombre* en la creación de características nuevas, útiles para él, en los animales domesticados.

Habla en favor de la domesticación de nuevas especies de animales. "El animal salvaje... recompensará la labor de la ciencia humana con la formación de nuevas cualidades útiles al hombre, que no tenían sus antecesores primitivos"[1].

Rulié plantea el problema de la sucesión de las formas en la naturaleza viva, del parentesco entre los animales fósiles y los que viven en la actualidad. Para ello se apoya en sus trabajos paleontológicos sobre los braquiópodos hallados en excavaciones realizadas en las cercanías de Moscú. Con materiales paleontológicos concretos, Rulié muestra el paso de unas especies a otras.

Hace resaltar, también el paralelismo entre el desarrollo individual y la filogenia en los animales: su formación a partir de una célula, el carácter progresivo en la complicación de la organización y, por último, el hecho de que todos los animales nacen en un medio líquido.

El gran evolucionista ruso Rulié falleció un año antes de que viera la luz *El origen de las especies* de Darwin.

P. F. *Goriáninov,* fundador del sistema natural de las plantas y uno de los creadores de la teoría celular, también figuró entre los primeros evolucionistas rusos.

Lo característico de la doctrina evolucionista de Goriáninov es su am-

[1] K. Rulié, *Discurso pronunciado con motivo de la fundación del Comité de Aclimatación de los Animales. Obras biológicas escogidas,* publicadas por la Academia de Ciencias de la U. R. S. S., 1954, pág. 495.

plitud. Si Rulié partía en sus concepciones del mundo animal, Goriánimov hizo extensivo su principio de la evolución a todo el mundo orgánico. Abarcó todas las categorías de la Taxonomía, desde las formas más sencillas hasta el hombre. Goriáninov prestó mucha atención al problema del *origen de la vida en la Tierra.*

Partiendo de las sustancias inorgánicas, Goriáninov desarrolla un amplio panorama de la evolución de la materia desde las formas más simplemente organizadas hasta el hombre. Reconoce el origen animal de éste, aunque señala el carácter específico de su desarrollo, subrayando que en el hombre la materia ha adquirido un grado tal en que se conoce a sí misma. Su orientación es más realista, aunque no está aún libre en cierto grado de la influencia de la filosofía de la naturaleza y aunque sus ideas no siempre están avaladas con datos suficientes.

Según Goriáninov, la materia es eterna y sus leyes cognoscibles. La materia se encuentra en estado de movimiento y es única. Desde la materia primitiva hasta el hombre, todo está ligado en la naturaleza con lazos de relación genética. La naturaleza se desarrolla permanentemente de una manera progresiva, según una espiral ascendente.

Goriáninov intentó dar un esquema gráfico del desarrollo de toda la naturaleza. Su clasificación de la naturaleza figura entre las mejores por su envergadura. Goriáninov supo apreciar el significado que para las estructuras filogenéticas tienen el estudio de la ontogénesis, la Anatomía comparada y la Teratología. Revisó, basándose en el principio evolucionista, todas las categorías de los reinos vegetal y animal, incluido el hombre.

Goriáninov debe ser considerado con justicia como el fundador de la filogenia científica.

K. A. Timiriázev pudo decir con toda razón, en el VIII Congreso de naturalistas y médicos rusos, que el darvinismo, lo mismo que todo en la Ciencia, no fue una revelación inesperada. El darvinismo fue una respuesta genial, madurada durante veinte años, a las exigencias que permanecían ocultas y maduraban en las mentes de los naturalistas más avanzados.

Timiriázev ilustra el grado de preparación en Rusia para asimilar las ideas del darvinismo con un artículo de A. N. Béketov, publicado a la vez que veía la luz el libro de Darwin.

Andrei Nikoláevich Béketov (1825-1902), profesor de la Universidad de San Petersburgo y famoso botánico y demócrata, formuló realmente un punto de vista muy próximo a la teoría de Darwin de la variabilidad de las especies.

Béketov era un evolucionista totalmente formado En su artículo, que se titula *Armonía en la naturaleza* (1859), mostró la maravillosa adaptación de las formas orgánicas a las condiciones de vida y descubrió las causas de esta adaptación. Hablaba de la *lucha por la existencia entre las especies y de la lucha de los organismos con las condiciones externas desfavorables.* El factor *decisivo* de la evolución es, según su teoría, la *influencia directa del medio.*

La orientación progresiva de la ciencia rusa se vio apoyada por el auge de la filosofía, del que eran exponentes Herzen, Belinski y Chernishevski. En este aspecto es de gran interés la obra de Herzen *Cartas sobre el estudio de la naturaleza,* donde, lo mismo que en otros muchos trabajos, hablaba de la necesidad de un estudio experimental de los complejos fenómenos

orgánicos, del estudio de la naturaleza desde un punto de vista evolucionista.

Los trabajos de los evolucionistas rusos ayudaron en gran escala a preparar el terreno al darvinismo.

CONCLUSIONES

1. En el desarrollo de la teoría evolucionista tuvieron enorme importancia los trabajos de Lamarck, dedicados a la taxonomía de las plantas y los animales, a la paleontología de los invertebrados y a la geología. Lamarck es autor de la primera teoría evolucionista materialista. Según él, el factor principal de la evolución lo constituye el medio exterior, que a través del intercambio ejerce en los organismos vegetales una influencia directa; en los animales, influye indirectamente a través de las funciones de los órganos. Los cambios adquiridos se transmiten por herencia.

Las ideas de Lamarck son relativamente limitadas, como era propio en el materialismo de su época.

2. Geoffroy Saint-Hilaire enunció una serie de principios de gran importancia para la Anatomía comparada y la Paleontología; propuso la teoría de un plan único de estructuración de los vertebrados. Sin embargo, sus intentos de aplicar a todo el reino animal el plan de estructuración de los vertebrados eran anticientíficos y fracasaron. Saint-Hilaire consideraba al medio exterior como la causa de los cambios de los animales. Sus ideas corresponden al transformismo mecanicista.

3. El principio de correlación de las partes del organismo planteado por Cuvier desempeñó un papel progresivo en la ciencia. Sin embargo, Cuvier le dio una interpretación idealista. Su descubrimiento de los cambios de la fauna y la complicación de los animales fósiles al pasar a formaciones geológicas modernas no le condujeron a conclusiones evolucionistas. Para armonizar los hechos científicos con sus ideas creacionistas Cuvier enunció la teoría reaccionaria de los cataclismos.

4. Con las obras de K. M. Ber la ciencia embriológica rusa se elevó a una altura incomparable. Sus trabajos sirvieron de base para la clasificación natural del reino animal. Condujeron a la idea de la unidad de origen de los animales, pero Ber no sacó las conclusiones pertinentes de los hechos que él mismo había descubierto.

5. La ciencia rusa se desenvolvió en lucha contra las teorías especulativas de Europa Occidental. Las tradiciones materialistas y el gran auge del pensamiento filosófico en Rusia, condujeron a los científicos rusos a la creación de una serie de sistemas evolucionistas. Algunos de ellos (A. N. Béketov) estaban muy próximos a la teoría expuesta después por Darwin.

CAPÍTULO XII

CARLOS DARWIN Y SU TEORIA

PREMISAS ECONOMICO-SOCIALES DEL DARVINISMO

Carlos Darwin, el gran revolucionario de las Ciencias Naturales, vivió y trabajó en la época del capitalismo en ascenso. En la primera mitad del siglo XIX, Inglaterra era un país capitalista con un elevado nivel de desarrollo de las fuerzas productivas. Era aquel un período de expansión en todas las ramas de la industria, la agricultura y la ciencia.

La aparición de la máquina de vapor constituyó una verdadera revolución en la industria, el elemento fundamental de su desarrollo. A continuación de la máquina de vapor apareció el telar mecánico. Engels señala que toda la historia ulterior de la industria inglesa es la historia del desplazamiento del trabajo manual por la máquina. Marx dice que la burguesía, en el período de su expansión, "...no puede existir sin ser causa constante de revoluciones en los instrumentos de producción, sin revolucionar, por lo tanto, las relaciones de producción.[1]"

El progreso de la industria textil necesitaba de materias primas, y los grandes propietarios transformaron la mayoría de las tierras de labor en enormes prados. Los agricultores se vieron expulsados despiadadamente de los campos que habían trabajado durante centenares de años, pueblos enteros eran incendiados, y la población sin hogar y sin medios de vida se convertía en proletariado, colocado de hecho fuera de la ley.

El rapaz capital inglés buscaba, naturalmente, mercados para su producción y nuevas fuentes de materias primas. La política exterior de Inglaterra se caracteriza en aquella época por una intensa colonización. La India, casi la totalidad de Australia, Nueva Zelanda, Tasmania, Africa del Sur y gran parte del Canadá habían sido ya transformados en colonias británicas.

Expediciones de reconocimiento, semimilitares-semicomerciales, se sucedían unas a otras. A ellas se incorporaban de ordinario buenos naturalistas, que estudiaban las rutas marítimas, la flora, la fauna y la geología de los nuevos países, es decir, sus riquezas naturales. Se iban acumulando datos sobre Paleontología, Zoogeografía y Fitogeografía. Los abundantes informes así reunidos, enriquecían la ciencia.

En una de esas expediciones, a bordo del *Beagle,* participó Darwin.

Las relaciones capitalistas dieron lugar a una diferenciación muy acusada de la sociedad burguesa: por un lado, los capitalistas, que constituían una parte relativamente insignificante de la población y acumulaban en

[1] Marx y Engels, *Manifiesto del Partido Comunista,* 1952, pág. 35.

sus manos todos los medios de producción, de consumo y de cultura, y por otro, las masas populares, reducidas a la más espantosa miseria. Se agudizó la lucha de clases.

Entre amplias capas del proletariado inglés comenzó a extenderse el movimiento cartista,[1] que acabó por ser cruelmente aplastado.

No satisfecha con la supresión directa de la iniciativa de los trabajadores, la burguesía inglesa recurrió a los métodos de la lucha ideológica.

Apareció la doctrina de la libre competencia, que se hacía derivar de las "leyes naturales de la naturaleza", expuesta en las obras de Adam Smith, David Ricardo, etc., y otros economistas; el concepto de Hobbes de la guerra "todos contra todos" y, por último, como una manifestación extrema de la animosidad de clase contra el proletariado, la "doctrina" malthusiana de la población. Malthus elevó el hambre, la miseria y la mortalidad cada vez mayor entre el proletariado, a la categoría de "ley natural" que depende, según él, de la superpoblación. Como el número de los que nacen es superior a los medios de subsistencia, los "sobrantes" tienen que morir.

Esta ley de la superpoblación la enarbolan los hombres de presa del capitalismo contra la más pequeña concesión a los trabajadores, entre otras, contra la "ley del impuesto en beneficio de los pobres".

La falsa doctrina de Malthus fue desenmascarada por Carlos Marx, el cual mostró que Malthus falsificaba la ciencia, que la superpoblación en la sociedad humana no es una ley de la naturaleza, sino una consecuencia de las relaciones capitalistas.

Ya en tiempos de Malthus, la producción había alcanzado en Inglaterra un nivel tan elevado que los medios de existencia se producían en exceso, como lo probaban las crisis que estallaban periódicamente. Sin embargo, los capitalistas preferían destruir lo que sobraba antes de permitir que lo utilizaran los necesitados, ya que la sociedad capitalista no puede existir sin la miseria de las masas, que son las que crean la riqueza.

Las relaciones capitalistas, a pesar de sus lados negativos, al penetrar en la agricultura, facilitaron su desarrollo: el paso de la pequeña economía basada en el arrendamiento a los grandes latifundios favoreció la aplicación de nuevos métodos de labores, de nuevas rotaciones de cultivos. La ganadería adquirió una nueva base y mejoraron las formas de explotación.

Tanto en el cultivo de las plantas como en la cría de animales comenzó a aplicarse en Inglaterra la *selección*. Surgieron escuelas de selección artificial. Se obtuvieron nuevas razas de ganado vacuno, ovejas (de lana, de carne, de piel) y cerdos (para carne y para tocino). A medida que fueron apareciendo nuevas razas, desaparecieron las primitivas, que cedieron el puesto a las más perfeccionadas. La transformación de los animales domésticos no sólo persiguió fines económicos, sino que se transformó en una especie de deporte. Se organizaron clubs para la cría de aves domésticas (gallinas, palomas), perros, etc. Se fomentaron los concursos, se ofrecieron premios y se organizaron exposiciones. Ante los ojos de un par de generaciones se produjeron grandes cambios: no ya en el aspecto exterior de los animales, sino que, como consecuencia del desarrollo de la industria, cambió incluso el paisaje de Inglaterra.

[1] El cartismo (del inglés *charter*, carta) fue un movimiento revolucionario masivo de los obreros ingleses, que luchaban por la realización de la Carta, una petición que exigía la democratización del régimen político.

Es natural que la idea de la mutabilidad de las plantas y los animales se fuera abriendo camino entre amplias capas sociales inglesas. Muchos contemporáneos de Darwin se manifestaban, cuando se presentaba la ocasión, en pro de la idea evolucionista; tratábase, sin embargo, de opiniones aisladas, de suposiciones que carecían de fundamentos serios. La ciencia sólo pudo aceptar la idea evolucionista cuando se llegó a una síntesis de todo lo reunido, de sus numerosos datos; y la idea misma de la evolución se dedujo indefectiblemente de ellos, convirtiéndose en la base de la previsión científica.

En el lecho de Procusto de la concepción metafísica del mundo no había lugar para la enorme cantidad de datos acumulados por la ciencia. Para asimilarlos científicamente era necesario el método histórico. Y esto es lo que Darwin hizo. La demostración de la variabilidad de las especies en la naturaleza la obtiene Darwin en la *Paleontología,* la *Taxonomía,* la *distribución geográfica de los animales y las plantas,* la *Anatomía comparada* y la *Embriología.* Las causas de la transformación las reveló la actividad práctica del hombre, que nos muestra ante nuestros propios ojos este cambio.

La teoría materialista de Darwin produjo en las Ciencias Naturales una verdadera revolución; a ella se debe el impulso que cobraron todas las ramas de la Biología.

DATOS BIOGRAFICOS

Carlos Darwin nació el 12 de febrero de 1809 en la pequeña ciudad provincial de Shrewsbury. Su padre era médico. Carlos era un niño con afán de saber, a quien gustaba mucho la naturaleza. En el colegio no figuró entre los mejores alumnos, ya que la árida enseñanza 'clásica" no satisfacía a su despierta inteligencia.

Sin haber terminado la enseñanza media, sus padres enviaron a él y a su hermano a Edimburgo a estudiar Medicina. Pero la Medicina no le atraía y dedicaba poca atención a las asignaturas especiales. Durante su estancia en Edimburgo realizaba frecuentes excursiones, se dedicaba a hacer colecciones, a cazar y a pescar. Recogía y disecaba los animales marítimos que la marea arrojaba a la orilla.

El padre de Darwin advirtió pronto que su hijo no llegaría a ser médico y lo envió a la Facultad de Teología de la Universidad de Cambridge, donde se licenció, aunque, como es natural, no podían interesarle las ciencias teológicas.

La estancia en Cambridge resultó provechosa para Darwin; hizo numerosas amistades, que influyeron profundamente en la orientación de sus actividades futuras. Le protegieron los profesores Henslow y Sedgwick. En casa de Henslow, Darwin conoció a muchos científicos famosos, que se fijaron en su despierta inteligencia y afán de saber. Le llevaban frecuentemente con ellos en sus excursiones científicas, y esto amplió sus horizontes y enriqueció sus conocimientos, adquiridos en la práctica. Una vez terminados los estudios universitarios, Darwin acompañó a Sedgwick en una expedición a la parte norte del País de Gales, que trataba de investigar las formaciones geológicas más primitivas. Esta expedición le fue posteriormente de gran utilidad, ya que en ella conoció la geología de todo un país. Con la ayuda del profesor Henslow, Darwin pudo incorporarse en 1831 a la expedición del *Beagle* alrededor del mundo, que fue, sin duda, el acontecimiento más importante de su vida. El viaje a bordo del *Beagle* le forjó como un verdadero científico. El don de observación de Darwin encontró por fin un campo donde ser aplicado. En este período, la Geología ocupaba un importante lugar en las investigaciones de Darwin. Tenía que registrar, en diferentes puntos de los lugares explorados, las estratificaciones, la composición mineral de las rocas, los fósiles y con estos datos, hacer informes sobre la

estructura de la región en su conjunto. Dorwin llevó consigo el libro de Lyell, *Fundamentos de la Geología,* en el que se rechazaba la teoría de los cataclismos de Cuvier y se exponía el principio evolucionista aplicado a la geología. Henslow y Sedgwick no compartían la opinión de Lyell (eran partidarios de la teoría de los cataclismos) y prevenían a Darwin para que no se dejase entusiasmar en exceso por la obra. Sin embargo, las primeras investigaciones que realizó por cuenta propia le hicieron ver la enorme superioridad de la teoría de Lyell en comparación con la de Cuvier.

Carlos Darwin.

Aparte de las investigaciones geológicas, Darwin se ocupaba de coleccionar animales, sobre todo marinos. Describía su aspecto exterior y estudiaba su estructura interna. Sin embargo, esta labor se resiente de sus insuficientes conocimientos en Anatomía y su torpeza para el dibujo: a esto se debe que no pudiera utilizar después muchos de los valiosos e interesantes materiales que había reunido. Darwin hubo de lamentar la poca atención dedicada a la Anatomía —que tan necesaria le era ahora— durante los años de su estancia en Edimburgo. El material que reunió con mayor acierto fue el relativo a los crustáceos, lo que le permitió más tarde llevar a cabo la clasificación de los pogonópodos. Darwin escribió el diario de la expedición, que publicó a su regreso a Inglaterra. El viaje a bordo del *Beagle* fue para él muy instructivo. Durante cinco años se dedicó por entero a observar y reunir datos que era necesario explicar teóricamente, para lo cual tuvo que leer gran número de libros especiales. Los razonamientos teóricos, extraídos de los libros, se veían sometidos al juicio de hechos concretos, que habían sido observados. El estudio de los estratos geológicos, la determinación de la antigüedad de los animales fósiles que aparecían en ellos, planteaban lógicamente el problema del lugar de estas formas fósiles en la clasificación y sugerían la idea de compararlos con los representantes de la fauna contemporánea del país y de los países vecinos. Claro está que entonces Darwin no era capaz de dar solución definitiva a todas estas cuestiones, pero instintivamente llegaba a conclusiones y suposiciones que iban transformando poco a poco al observador coleccionista en un científico pensador.

Treinta y nueve años después, en su autobiografía, escribía Darwin que durante el viaje en el *Beagle* influyeron profundamente en él los siguientes hechos: el hallazgo en las formaciones de las pampas de animales fósiles de grandes dimensiones, cubiertos por una coraza a semejanza de los armadillos actuales; el cambio paulatino de animales semejantes hacia el sur del continente; el carácter americano de los animales y plantas del archipiélago de los Galápagos y el hecho de que en cada isla del mismo se diferenciasen algo unos de otros (a pesar de que geológicamente la edad de las islas era la misma). "Evidentemente —escribía Darwin—, estos hechos y multitud de otros semejantes pueden explicarse únicamente suponiendo que las especies van cambiando poco a poco, y este problema me persiguió sin descanso desde entonces"[1].

La idea de la mutabilidad de las especies surgió ya en Darwin durante su viaje; sin embargo, desde el momento de su regreso a Inglaterra hasta la publicación de su teoría sobre el origen de las especies habían de transcurrir veintitrés años. Durante este tiempo Darwin editó varias veces su diario y publicó gran cantidad de trabajos de Taxonomía y Geología.

[1] C. Darwin, *Origen de las especies,* 1952, pág. 60.

Darwin empezó a escribir una extensa obra en la que quería exponer su teoría del origen de las especies. Cuando este trabajo estaba casi a la mitad, otro explorador naturalista, Alfred Wallace, le envió su estudio *Acerca de la tendencia de las variedades a apartarse ilimitadamente del tipo inicial,* rogándole que lo transmitiese a Lyell, si Darwin lo consideraba digno de atención. El trabajo de Wallace exponía los mismos puntos de vista que la obra de Darwin. Por tanto éste se vio ante el inminente peligro de perder la prioridad en la obra de toda su vida. Por consejo de Lyell envió el estudio de Wallace a la *Revista de las reuniones de la Sociedad Linneana,* haciéndolo acompañar de algunos extractos de su obra y de una carta al botánico americano Aza-Grey, fechada hacía más de un año. En esta carta se exponían las tesis principles de la doctrina de Darwin. Sin embargo, ni la obra de Darwin ni la de Wallace tuvieron repercusión en la prensa. El único comentario, fue el del profesor Goton, quien opinaba que lo que había de nuevo en aquellos trabajos era falso y lo que estaba bien, era anticuado.

Sin embargo, el caso de Wallace le hizo redoblar sus esfuerzos y al cabo de un año (1859) editaba su obra en forma reducida.

Como se trataba únicamente de un resumen del material tan amplio de que Darwin disponía, incluyó únicamente, en confirmación de su teoría, los hechos más evidentes. Además, durante muchos años había ido recogiendo todas las opiniones y hechos, contrarios a su punto de vista. Así pudo prever las posibles objecciones que podría encontrar su teoría y preparar en el libro la respuesta. Todo ello dio a su trabajo una gran fuerza persuasiva. El volumen relativamente pequeño de la obra contribuyó a que su teoría pudiese llegar a un gran círculo de lectores y, en gran parte, al éxito del libro.

Obras de Darwin.

El libro de Darwin *Origen de las especies mediante la selección natural o conservación de las razas mejor dotadas en la lucha por la existencia* es, sin duda, la obra capital de su vida.

Todo lo publicado anteriormente fue, en cierto modo, una preparación para las conclusiones a que llega en el *Origen de las especies,* y todo lo posterior desarrollo de su teoría o su aplicación a casos concretos de estudio de la naturaleza.

En su histórica obra, Darwin recoge los nombres de casi treinta antecesores y contemporáneos suyos que habían manifestado ideas evolucionistas. Por desgracia, no estaba al corriente de los trabajos realizados por los evolucionistas rusos, y de ahí que éstos no figuran en su lista. Darwin rinde justo tributo a Lamarck, como al primer evolucionista cuyas concepciones fueron especial objeto de la atención de muchos científicos.

Plantea Darwin la cuestión de los *modos y procedimientos* que siguen los organismos para cambiar y adaptarse a las condiciones de existencia, y halla la respuesta estudiando los cambios que tienen lugar en la formación de las razas de animales domésticos y variedades de plantas agrícolas cultivadas. "Respecto a ello puedo expresar mi convencimiento del gran valor que representa semejante estudio, a pesar del desprecio de que ha sido corrientemente objeto por parte de los naturalistas".[1]

La primera conclusión a que Darwin llega en sus investigaciones es la siguiente: *los animales y las plantas se transformaron al verse sometidos a la influencia del hombre.* La causa de las variaciones de las formas cultivadas la veía Darwin en las *nuevas condiciones de vida* a que se ve

[1] C. Darwin, *Origen de las especies,* 1952. Introducción, págs. 86-87.

sometida la especie al ser domesticada, y en la *selección* que realiza el hombre de plantas o animales que poseen en grado máximo los cambios que desea.

Darwin buscó en la naturaleza misma el principio orientador que sustituye la voluntad consciente del hombre. Este principio lo halla en la *selección natural*. La selección natural es resultado de complejas relaciones en la naturaleza, a las que Darwin denomina *lucha por la existencia*.

Los factores principales de la evolución son, según Darwin, la *variabilidad*, que ofrece el material necesario para la actividad de la selección natural; la *herencia*, que fija en los descendientes los cambios producidos, y la *selección*, que conserva las formas mejor adaptadas.

Además del *Origen de las especies*, Darwin publicó trabajos sobre problemas concretos de las Ciencias Naturales, enfocados a la luz de su teoría: *Animales domésticos y plantas cultivadas; Fecundación de las orquídeas, Acerca de las plantas trepadoras, Sobre las facultades dinámicas de las plantas, Origen del hombre y selección sexual, Expresión de los sentimientos en el hombre y en los animales, Estudio sobre la psicología del recién nacido, Plantas insectívoras* y *Formación del humus con ayuda de las lombrices de tierra*.

La última obra de Darwin fue su *Autobiografía*, que apareció ya después de su muerte.

DOCTRINA DE DARWIN SOBRE LA VARIABILIDAD DE LOS ORGANISMOS

Darwin estableció que los ejemplares pertenecientes a razas de animales domésticos y a variedades de plantas cultivadas se diferencian entre sí más que los ejemplares de las razas o variedades salvajes.

El mayor grado de variabilidad de los organismos domésticos lo relaciona Darwin con la mayor variedad de *condiciones de existencia* de estas formas en comparación con sus parientes salvajes. Darwin considera de gran importancia en este sentido el cambio y la abundancia de alimentos. En la variabilidad, dice, pueden lograrse mayores cambios si la *variación de condiciones actúa sobre una serie de generaciones*. "Una sola cosa es evidente —escribía—, y es que los seres orgánicos deben verse sometidos a la acción de nuevas condiciones durante varias generaciones para que en ellos se puedan observar grandes cambios; también es evidente que los organismos propicios a los cambios continúan modificándose durante muchas generaciones".[1]

En este párrafo expone Darwin una de las tesis más importantes de su teoría, la *idea de la variabilidad a lo largo de varias generaciones*. Naturalmente, esto tiene sólo lugar si continúa actuando la causa que produjo dichos cambios. Por desgracia, Darwin no desarrolló esta tesis lo suficiente. No obstante, dice de modo concreto que el organismo que cambió en un determinado sentido, continuará haciéndolo en el mismo sentido durante las generaciones sucesivas. "No se conoce ni un solo caso —decía Darwin—, en que un organismo capaz de variar haya dejado de hacerlo en estado doméstico."[2] Las plantas cultivadas más antiguas, como por ejemplo el

[1] C. Darwin, *El origen de las especies*, 1952, pág. 89.
[2] Ibidem, pág. 90.

trigo, continúan dando nuevas variedades; los animales domésticos más antiguos conservan la capacidad de cambiar y perfeccionarse. Por lo tanto, la causa de la variabilidad de los organismos y su fuente es para Darwin el cambio de condiciones del medio exterior.

Darwin señalaba que el medio exterior puede influir en el organismo de dos maneras: 1) *directamente, en todo el organismo o en alguno de sus órganos,* y 2) *indirectamente, a través del aparato reproductor.*

En cuanto a las relaciones entre el organismo y el medio ambiente, Darwin atribuía la mayor importancia a la *naturaleza del organismo*, que, según, él, es la que determina el carácter de la variabilidad. Darwin llegó a esta conclusión partiendo del hecho de que, con frecuencia, los organismos logran cambios semejantes en medios distintos y, por el contrario, cambios diferentes se presentan en medios exteriormente parecidos.

Darwin opinaba que la influencia directa en el organismo puede tener un carácter orientado o no; de acuerdo con ello, distinguía la *variabilidad determinada y la indeterminada.* En el primer caso, la reacción de todos los ejemplares sometidos a una acción determinada es *uniforme*, todos *cambian del mismo modo.* Como ejemplo de semejante variabilidad determinada, cita Darwin el aumento de la lana en longitud y espesor y de la piel en grosor por influencia del frío, el cambio de coloración bajo la influencia de los alimentos, etc. Darwin escribía: "Cada uno de los infinitos colores de las plumas de nuestras aves domésticas tiene que proceder de una causa física, y si las mismas causas actuaron del mismo modo durante una larga serie de generaciones en un gran número de ejemplares, todos ellos variarán probablemente del mismo modo."[1]

La variabilidad indeterminada tiene carácter *diverso.* Se refleja en la aparición de pequeñas, aunque a veces profundas diferencias, que distinguen entre sí a ejemplares de la misma especie, y a éstos de sus padres. Según Darwin, la variabilidad indeterminada se manifiesta en las pequeñas modificaciones, pero de variedad infinita, que distinguen a los ejemplares de la misma especie y que no pudieron haber sido heredadas de ninguno de los genitores ni de sus antecesores. Darwin mencionaba la posibilidad de profundas diferencias que presentan con frecuencia animales de la misma ventregada o plantas obtenidas de semillas pertenecientes a la misma cápsula.

Los cambios débiles, o más patentes, que ofrecen ejemplares que viven juntos, los consideraba Darwin resultado de la acción indeterminada de las condiciones de existencia en cada organismo individual, de modo semejante al enfriamiento, que actúa de modo indeterminado en distintas personas "de acuerdo con su complexión o estado, produciéndoles tos, catarro, reumatismo o la inflamación de diferentes órganos".[2]

Por lo tanto, la variabilidad indeterminada la interpreta Darwin como una *reacción individual* de los organismos a los cambios que experimentan durante su desarrollo, debido a que estos cambios de condiciones los reciben los distintos organismos en diferente estado.

La individualidad de la reacción está determinada por diferencias primarias entre los ejemplares que constituyen la especie: diferencias de edad

[1] C. Darwin, *El origen de las especies,* 1952, pág. 90.
[2] Ibídem, 1952, pág. 90.

o de otra clase de los organismos, la presencia de las cuales modifica el efecto de las relaciones, incluso en igualdad de condiciones del medio.

Además, condiciones aparentemente iguales, que actúan sobre diferentes organismos, pueden no ser idénticas en lo que se refiere a cada individuo aislado: influyen en ello también las condiciones del microambiente, que no siempre pueden ser tenidas en cuenta.

Darwin llama "influencia indeterminada" a aquella en que uno de los ejemplares cambia en un sentido y otro en sentido diferente, como se puede observar con frecuencia en plantas y animales, después de haber permanecido varias generaciones en condiciones de vida modificadas.

Darwin niega la *tendencia interna e innata de los organismos a cambiar, independientemente de influencias exteriores.* Según afirma, ". . .toda variación obedece directa o indirectamente a algún cambio de las condiciones exteriores. . ." [1]

Considera que, incluso semillas de la misma cápsula no se hallan en condiciones absolutamente iguales, ya que reciben alimento de diferentes puntos, y semejante diferencia basta a veces para influir en los caracteres de la futura planta.

El menor parecido entre los hijos de los mismos padres, nacidos en diferente época, en comparación con los gemelos (que a veces se asemejan extraordinariamente, tanto en su aspecto como en sus facultades mentales y constitución), demuestra, según Darwin, que el estado de los padres en el período de fecundación, o el carácter del desarrollo posembrionario, influyen directamente sobre los caracteres del vástago.

La variabilidad de las plantas y los animales que se desarrollan en condiciones nuevas para ellos, y que no les son propias, puede alcanzar dimensiones que, según Darwin, corresponden a las de la variabilidad en la hibridación entre especies diferentes.

Darwin señala que muchos animales domesticados pierden la facultad de reproducirse, incluso si continúan viviendo en el lugar de origen y casi en libertad. El cambio de condiciones, agrega, posee la propiedad específica de suspender en mayor o menor grado la función reproductora.

El sistema reproductor no ofrece grandes lesiones, pero el animal pierde la capacidad de transmitir a los descendientes las caracteres de los progenitores. Se obtiene así una descendencia muy variada, que se desvía en su desarrollo en las direcciones más diversas. A veces, estos cambios no se descubren en seguida; Darwin cita como ejemplo el de la pava en estado salvaje, que al ser domesticada cambia el color tan sólo en la tercera generación.

Darwin *comparaba la influencia del medio exterior, que produce una variabilidad "indeterminada" diversa, con la acción de la chispa o del choque, que impulsa al organismo al cambio.* El carácter de la variabilidad de los organismos y su dirección no suelen depender de la naturaleza de las condiciones que actúan. Esta opinión de Darwin ha servido a algunos de sus críticos para afirmar que en su sistema existen conceptos idealistas acerca de las reacciones entre el organismo y el medio. Decían que Darwin defendía la autogénesis, es decir, la idea de la total independencia del organismo respecto al medio. Según estos críticos, los factores del medio desempeñan en el sistema de Darwin, únicamente el papel de estímulos

[1] C. Darwin, *Obras,* 1951, t. 4, cap. XXVIII, pág. 770.

de la variabilidad del organismo. Pero estos cambios no corresponden a la acción del medio y se suceden de acuerdo con leyes incognoscibles, que no dependen del ambiente exterior. Eso es falso. La interpretación que Darwin da al problema de la variabilidad es completamente materialista, pues, según él, la base de la variabilidad de los organismos está siempre en los cambios del medio. Cuando Darwin habla de cambios "indeterminados" no los considera en modo alguno causalmente incondicionados o incognoscibles. Daba el nombre de "indeterminados" a los cambios cuya causa concreta no podía explicarla la ciencia de su época.

Darwin escribía: "A pesar de que cada cambio *debe tener una causa estimulante propia* (la cursiva es mía.—*V. M.*) y a pesar de que cada uno de ellos está sometido a una ley, es poco frecuente que podamos establecer la relación exacta entre la causa y el efecto, y por eso nos sentimos tentados a hablar de variaciones que se producen espontáneamente." [1]

Sus opiniones respecto a los cambios "indeterminados" las basaba Darwin en los trabajos de algunos seleccionadores contemporáneos suyos, que a veces observaban en el animal o la planta numerosos y variados cambios. Por ejemplo, el conocidísimo jardinero francés Louis Vilmorin, que obtuvo gran cantidad de nuevas variedades, decía que para lograr la variación deseada era necesario vencer el carácter conservador de la herencia, obtener una desviación cualquier y entonces, entre las diferentes variaciones, aparecerá aquella que deseábamos. Por lo tanto, *en el período de Darwin, el papel del seleccionador se reducía, en el mejor de los casos, a buscar la variación que le interesaba, entre muchas "casuales".*

Si bien Vilmorin logró en su trabajo quebrantar la base hereditaria, no se estudiaron las causas que originaban los cambios primarios y no se descubrió la verdadera esencia de las relaciones entre el organismo y el medio ambiente.

Esta falta de amplitud del trabajo práctico de selección, característica de los contemporáneos de Darwin, fue la causa de los puntos débiles de su teoría. La verdadera interpretación científica de las relaciones entre el organismo y el medio la dio por primera vez I. V. Michurin. La teoría michurinista eleva el darvinismo a nuevas alturas. *Al investigar las causas de la aparición de los cambios primarios, la teoría michurinista señala el modo de dirigir la variabilidad de los organismos.*

Uno de los defectos capitales de la teoría de Darwin consiste en que *subestima el papel de la influencia directa* del medio, error que, al final de su vida, lo reconoció el mismo Darwin.

Según llegó a escribir, la mayor equivocación de su vida fue el no haber apreciado lo suficiente la acción directa del medio sobre el organismo. En realidad, su estimación de las relaciones entre el organismo y el medio y su clasificación de las formas de influencia de éste revelan el carácter limitado de la teoría de Darwin.

Darwin subraya que, en contra de una opinión muy extendida, la variabilidad de los organismos no va siempre unida al acto de reproducción sexual. La variabilidad puede tener también lugar en la *multiplicación vegetativa.* En tales casos, la planta produce una yema que posee caracteres completamente nuevos (rosas dobles, melocotones de piel suave, etc.). Las variaciones pueden producirse en *diferentes edades* con el cambio de

[1] C. Darwin, *Obras*, 1951, t. 4, cap. XXVIII, pág. 770.

condiciones. Por ejemplo, las plantas que son trasladadas a otras condiciones climáticas, varían su período de floración. Darwin acepta también el *principio* enunciado por Lamarck *del uso o ejercicio* y *el desuso o falta de ejercicio en los órganos*. Dice que al domesticar los animales se modifican sus costumbres, unos órganos se utilizan y por tanto se desarrollan más, otros, en cambio, al no ejercitarse se debilitan y disminuyen, reduciéndose a un estado vestigial. Darwin compara el pato doméstico con el silvestre y señala, al estudiar todo el esqueleto, como los huesos de las alas del primero pesan menos y los de las patas más que los del segundo. Eso lo atribuye a la circunstancia de que el pato doméstico vuela menos y anda más que sus antecesores silvestres. Darwin relaciona el desarrollo de las ubres en las vacas con el intenso ordeñado. Hace notar que la mayoría de razas de animales domésticos tienen las orejas caídas, lo que, según él, está relacionado con la falta de ejercicio de los músculos correspondientes, ya que los animales domésticos rara vez se asustan. Observa igual mente que los cambios que se suceden en el *período embrionario* se reflejan también en el organismo adulto.

Darwin habla de la variabilidad *correlativa*, que consiste tanto en una correlación determinada entre los rasgos morfológicos como entre determinados rasgos morfológicos y algunas características fisiológicas. Por ejemplo, los gatos blancos de ojos azules son sordos; el pelaje de tres colores en los gatos "mariposa" denuncia el sexo femenino; la mayor longitud del cráneo que presentan diferentes animales, está relacionada con el alargamiento de las extremidades; el color blanco o la pigmentación débil de las ovejas y los cerdos va acompañada de su mayor sensibilidad para determinadas sustancias contenidas en algunas plantas; la falta de lana en los perros va unida a una dentadura imperfecta; el gran desarrollo de los cuernos, va acompañado en los animales de una mayor longitud y más duración del pelo, etc.

Semejantes correlaciones existen también en el reino vegetal. Las modificaciones de un carácter producen las de otros y hasta, posiblemente, las de un grupo de ellos. No siempre advertimos la causa de estas correlaciones, pero, como puede deducirse de los ejemplos mencionados, obedece a relaciones fisiológicas dentro del organismo.

Origen de las razas de animales domésticos

Darwin estudia el origen de los animales domésticos para descubrir las causas de la transformación de las especies en la naturaleza. Si se lograse dar con el origen de las causas que determinan la formación de cualquier variedad, pensaba, eso equivaldría a encontrar las causas de la transformación de las especies.

A este objeto había que dilucidar si todas las variedades actuales de animales domésticos proceden de uno o de un reducido número de especies salvajes, o si cada variedad tiene como antecesor una especie salvaje diferente.

Si las numerosas variedades de animales domésticos que hay en la actualidad proceden de uno o de un reducido número de especies salvajes, *la*

FIG. 319. Razas de perros domésticos.

causa de la aparición de variedades reside en las condiciones que influyeron en la especie al domesticarla. El estudio de distintas razas de perros demuestra que se han alejado extraordinariamente en lo que respecta a sus caracteres. No sólo las razas actuales, sino también las subrazas, se diferencian más entre sí que muchas especies de los animales salvajes. Las diferencias entre un enorme perro de San Bernardo y un diminuto perro japonés son tan grandes que, de ser encontradas estas formas en condiciones naturales, es probable que se las considerase como pertenecientes a diferentes géneros (fig. 319). Sin embargo, el origen común de las razas de perros domésticos no ofrece duda alguna, ya que algunas de ellas se han formado en tiempos relativamente recientes; por ejemplo, el setter procede del barbet y el bulldog del mediolano. Las razas más primitivas que conoce el hombre han conservado la semejanza con el lobo o el chacal: el perro esquimal, con el lobo del Norte, y el perro indio, con el lobo indio.

El estudio de las razas de perros domésticos lleva a Darwin a la conclusión de *que cada una de las razas de perros domésticos actuales no tuvo como antecesor una especie diferente,* sino que todos ellos son producto de la domesticación y el cruce de un número reducido de especies salvajes.

Darwin considera que el origen de los caballos domésticos está más claro que el de los perros. La forma primitiva salvaje del caballo se parecía mucho, según él, al caballo actual; las razas domesticadas que existen hoy día se han transformado notablemente en distintas direcciones. Muestra evidente de ello nos la dan los enormes percherones, los caballos de carreras y los pequeños ponies.

Darwin analiza también detalladamente el origen de las razas de ovejas domésticas, de los cerdos, conejos, gallinas, palomas, etc. Se fija en que cerdos domésticos procedentes de dos especies salvajes tan distintas como la europea y la china, se parecen exteriormente mucho. Esta semejanza es resultado de la actividad del hombre, cuyas exigencias respecto al cerdo doméstico fueron en ambos casos las mismas.

Darwin llega a la conclusión que todas las actuales *razas de gallinas tuvieron su origen en una especie salvaje,* el *Gallus bankiva,* que aún se encuentra en la India.

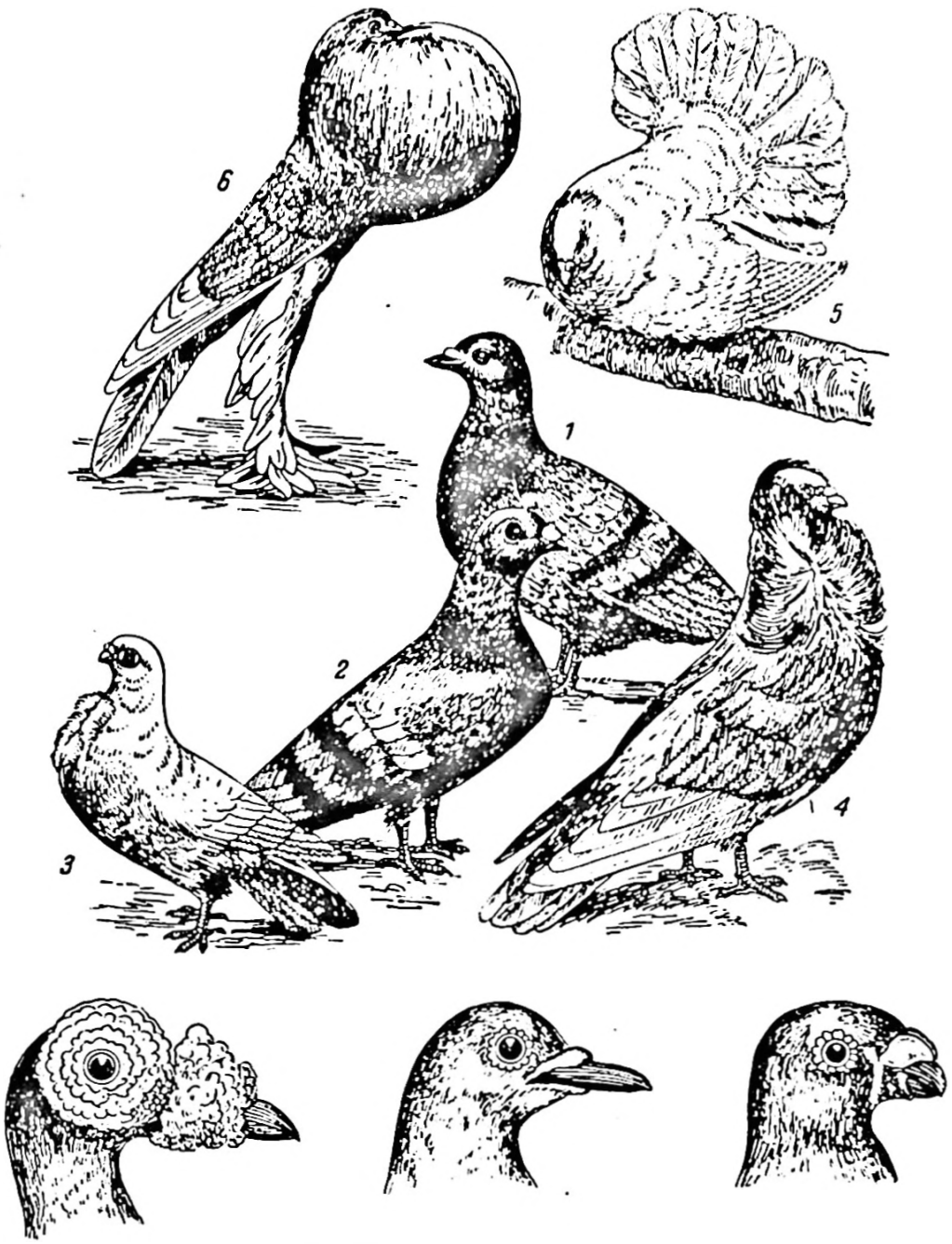


FIG. 320. Razas de palomas.

Las pruebas más palpables de que toda la enorme variedad de formas procede de una sola especie salvaje la obtuvo Darwin al estudiar las variedades de las *palomas domésticas* (fig. 320). Analizó esqueletos y cráneos, cruzó diferentes variedades y estudió la piel de los ejemplares que le fueron enviados de diferentes países, llegando a la conclusión que todas las razas de palomas que hoy día existen tienen su origen en la paloma silvestre o torcaz, *Columba livia.*

Las razas de palomas que existen en la actualidad, más de 150, se diferencian entre sí y de la forma inicial en todos aquellos caracteres que han sido objeto de atención por parte del hombre. Tanto las razas como las subrazas de palomas domésticas se distinguen por su coloración, que en algunas es muy característica (palomas de ojo de fresa, de color rojo cobrizo, palomas de toca, etc.), por la cantidad y la forma del plumaje (palomas moñudas, acorbatadas, calzadas), por el número de plumas rémiges y timoneras (colipavos, jalandrinas) y por el tamaño del cuerpo y de las patas (buchonas, tumbles, palomas golondrinas de Nuremberg).

El pico, que se considera como un carácter muy constante en las palomas silvestres presenta también muchas variedades (palomas mensajeras de pico muy desarrollado, volteadoras de pico corto, bagadais con el pico ganchudo como las aves rapaces).

La estructura interna de las diferentes razas ha sido también objeto de profundos cambios (forma del cráneo, anchura de las costillas, longitud del pecho, número y tamaño de las vértebras de la cola, forma del buche). Se han modificado también algunos instintos, como por ejemplo, la aparición en ciertas variedades de un arrullo especial, de un tamborileo en las "tambores", la costumbre de las volteadoras, que ejecutan en el aire verdaderas proezas acrobáticas.

A pesar de sus profundas diferencias, todas las razas de palomas son muy fecundas al cruzarlas. Por el cruzamiento de diferentes razas Darwin logró formas muy semejantes a la primitiva silvestre. Por ejemplo, con el cruce de una paloma real blanca con una polaca negra obtuvo descendientes negro-castaños con pintas blancas. El cruce de los híbridos dio palomas gris-azuladas con franjas en las alas y la cola, que no se distinguían de la silvestre. La comparación de diferentes subrazas y, sobre todo, las que han sido obtenidas en lugares alejados unos de otros, proporciona una serie casi completa que las enlaza con la paloma silvestre.

Por tanto, las razas actuales de animales domésticos tienen su origen en uno o en un reducido número de especies salvajes. Bajo la influencia de la domesticación, estos animales han producido toda la variedad de formas que hoy existen.

Darwin llegó a la misma conclusión en lo que se refiere a las plantas cultivadas. De ahí se deduce que las especies animales y vegetales no permanecen invariables.

DOCTRINA DE DARWIN SOBRE LA SELECCION ARTIFICIAL

El rasgo característico de las razas de animales domésticos es que poseen una determinada especialización, la cual, sin embargo, no beneficia al animal, sino únicamente *al hombre.*

A la pregunta de cómo se logró esta especialización de razas, destinada a satisfacer las necesidades o los gustos humanos, Darwin responde que en ello influyeron, sin duda, el cambio de las condiciones de vida y las nuevas costumbres, aunque no creyó posible atribuir la aparición de las profundas diferencias características de las razas de animales actuales únicamente a la acción de estos factores. Afirma que el proceso de formación de nuevas razas tiene lugar ante nuestros ojos y que es el hombre quien lo dirige. Por ejemplo, existen clubs de amigos de las gallinas, de las palomas, etc., los cuales tratan no sólo de conservar las cualidades de las razas, sino de mejorarlas, de darles otras nuevas, concediendo premios a quienes logran determinados cambios.

Por ejemplo, los miembros de un jurado inglés mostraron deseos de que la cresta del gallo español, que era flácida, fuese enhiesta y en el transcurso de cinco años se logró: exigieron que las gallinas tuvieran barba, y al cabo de seis años, en la exposición del Palacio de Cristal de Londres, había 57 grupos de gallinas con barba.

Darwin dice que los dueños de granjas pueden cambiar a voluntad todas las partes visibles del cuerpo del animal. Han obtenido razas de ovejas de carne y de lana; ganado vacuno de leche, de carne y de labor; caballos de carreras y de carga; diferentes razas de perros y de palomas. Muchos de los cambios obtenidos son inútiles no sólo al animal sino también al hombre; son fruto del capricho o de la moda, y van a veces en perjuicio del animal. Por ejemplo, las volteadoras de pico corto tienen éste tan débil, que la cría no es capaz de romper el cascarón y salir de él sin la ayuda humana.

¿En qué consiste este arte de los expertos? Darwin responde: "La solución está en el poder del hombre para acumular cambios mediante la *selección*: la naturaleza ofrece cambios sucesivos; el hombre los suma en el sentido que le conviene." [1]

Este proceso se basa en la variabilidad, que se prolonga durante una serie de generaciones. Si un órgano o carácter cualquiera ha variado en determinado sentido, en las generaciones sucesivas continuará haciéndolo en el mismo, siempre y cuando se mantengan las condiciones que produjeron tal cambio. *La herencia de cada variación es para Darwin la regla, y la no herencia la excepción.* Los cambios que aparecen a cierta edad se revelan en los descendientes a la misma edad. Con frecuencia, los intereses del hombre se relacionan con fases determinadas del desarrollo de los animales. Por ejemplo, le interesa el capullo del gusano de seda, que sirve de materia prima para la fabricación de la seda, y por eso se han obtenido muchos tipos que se distinguen por los capullos, pero no existen tipos que se diferencien por las orugas o por las mariposas.

Según Darwin, el hombre es capaz, mediante la selección, de intensificar constantemente cualquier cambio en el mismo sentido, ya que este poder suyo se basa en la variabilidad, que obra siempre en dicho sentido.

La variabilidad durante una serie de generaciones, aumentada por la herencia y la selección, produce una gran desviación del tipo inicial y da lugar a nuevas formas.

Darwin señala las dos clases de selección artificial: la *consciente* y la *inconsciente*. La *selección consciente o metódica se realiza con un fin determinado de antemano*. El dueño de una granja se marca un plan y elige para la reproducción ejemplares que muestren aunque sólo sea vestigios de los caracteres que desea. Estos cambios se van acumulando y aumentando en las generaciones siguientes y conducen a un fin preconcebido, a la aparición de una nueva forma de animales de determinada especialización. Como ejemplo, toma Darwin la obra de conocidos seleccionadores que en el transcurso de la vida de un hombre obtuvieron nuevas razas de ganado.

Los ganaderos ingleses, que se proponían obtener una raza especial de ovejas, colocaban los animales sobre la mesa y analizaban detalladamente su lana, recurriendo incluso al empleo de la lupa.

[1] C. Darwin, *El origen de las especies*, 1952, pág. 104.

Las pequeñísimas diferencias, capaces sólo de revelarse a un buen especialista con ayuda de la lente, se convertían, al cabo de una serie de generaciones, en profundas diferencias de raza.

Sin embargo, cuando se trata de aclarar el problema del origen de las razas, para Darwin representa un interés mucho mayor la forma de selección llamada por él inconsciente, que es la más antigua. *En la selección inconsciente el hombre no se propone mejorar o variar la raza,* sino que mata para cubrir sus necesidades, en primer lugar, a los animales de menos valor, y ello conduce al cambio de la raza.

Por ejemplo, se utilizan en primer lugar para carne las gallinas menos ponedoras. En los períodos de hambre, los salvajes se comen antes a sus perros menos valiosos, conservando los mejores, los mejores para cazar, y de este modo son éstos los que aumentan su descendencia. Darwin cita, en calidad de ejemplo, dos rebaños de ovejas de raza pura de Leicester, a cuya cría se dedicaban dos ganaderos. Al cabo de 50 años, los caracteres de ambos rebaños eran tan diferentes, que se les podía considerar como pertenecientes a distintas razas; es decir, se había logrado un efecto, que los ganaderos no esperaban ni trataban de lograr; este resultado fue obtenido inconscientemente.

Lo mismo puede observarse en las plantas. Darwin señala que en muchos casos no se conocen las formas originarias de nuestras plantas cultivadas.

El proceso de mejoramiento de las plantas cultivadas transcurrió, según Darwin, con mucha lentitud y casi inconscientemente. Fue alcanzado por el cultivo de las variedades más valiosas y la selección de las mejores entre las mejores. Semejante proceso, si se lleva a cabo durante siglos y siglos, puede perfeccionar extraordinariamente la forma inicial.

Darwin señala las siguientes causas, que favorecen la selección:

1. *Gran cantidad de ejemplares,* lo que aumenta las probabilidades de que se produzcan cambios útiles. Para ilustrar este principio cita a un contemporáneo suyo, Rivers, famoso criador de perros, que explicaba de la siguiente forma sus éxitos: "Crío muchos y cuelgo muchos." [1] Darwin indica que los grandes cultivadores obtienen nuevas variedades con mayor rapidez que los aficionados; los animales pertenecientes a los pobres, cuyo número es escaso, no se perfeccionan.

2. *Arte del criador,* la capacidad de elegir para la reproducción ejemplares dotados de propiedades valiosas.

3. *Eliminación de los cruzamientos casuales.* El acoplamiento casual de los animales, o la polinización casual de las plantas, puede llevar al fracaso toda la labor del seleccionador. Las palomas son, debido a su monogamia, un animal muy adecuado para obtener nuevas razas. Eso permite realizar el trabajo de selección con varios tipos, al mismo tiempo, manteniéndolas en el mismo palomar. Los menos adecuados son los gatos, a causa de sus instintos vagabundos. Por eso no son numerosas las variedades de gatos y proceden casi siempre de lugares alejados.

Las condiciones indicadas por Darwin para el éxito de la selección reflejan el bajo nivel teórico de esta ciencia, cuando el seleccionador se basaba tan sólo en los cambios útiles casuales que le ofrecía la naturaleza.

Las prácticas actuales de la agricultura socialista, basada en la teoría

[1] C. Darwin, *Obras. Variación de los animales domésticos y plantas cultivadas,* 1951, Moscú-Leningrado, t. 4, pág. 627.

michuriniana, utilizan la forma superior de selección, la *selección educativa planificada*, que permite *dirigir la variabilidad* de los organismos.

Darwin rechaza de plano las teorías que afirman que el límite de variabilidad de los animales domésticos y las plantas cultivadas se logra con mucha rapidez y que después estas formas conservan constantes sus caracteres y no admiten más cambios.

Darwin aduce pruebas irrefutables de que nuestras plantas cultivadas y los animales domésticos han variado profundamente y se han perfeccionado en los últimos tiempos, y que este proceso continúa. Considera que cualquier carácter animal puede tropezar con sólo un límite para su desarrollo, el que establecen las causas físicas. "Por ejemplo, debe existir un límite para la velocidad de la carrera de cualquier animal terrestre, un límite determinado por el rozamiento que se vence, el peso del cuerpo en movimiento y la fuerza de contracción de los músculos",[1] escribe Darwin. Los caracteres, que parecen haber alcanzado el límite de su desarrollo y se mantienen constantes durante largo tiempo, cambian sin duda al variar las condiciones de vida.

DOCTRINA DE DARWIN SOBRE LA SELECCION NATURAL

La selección natural como consecuencia de la lucha por la existencia en la naturaleza.

Darwin llegó a la teoría de la selección natural a través del estudio práctico de la selección artificial. Dos circunstancias le ayudaron a descubrir en la naturaleza un proceso semejante a la labor práctica de selección realizada por el hombre:

1. En los trabajos prácticos de selección *no siempre participa la voluntad consciente del hombre,* sino que existe una selección inconsciente, y en este sentido la selección artificial es un instrumento ciego, lo mismo que cualquier otro factor de la naturaleza.

2. La selección artificial no siempre se sujeta a la elección de los mejores ejemplares. Se atiene con mucha mayor frecuencia a la *destrucción de los peores,* con lo que el resultado es también que se conserven los ejemplares más valiosos para la reproducción. Esto se produce no sólo con la selección inconsciente, sino con la selección metódica y en masa.

La solución del problema de qué es lo que en las condiciones naturales se encarga de destruir los ejemplares menos perfectos, la encuentra Darwin en las complejas relaciones que se observan en la naturaleza. Cada organismo que nace entra en relación con otros organismos y con el mundo inorgánico que le rodea. Toda la naturaleza viva está relacionada por medio de una complicada cadena de nexos, que Darwin denomina *lucha por la existencia.* El término de "lucha por la existencia" lo interpreta en un amplio sentido figurado. Este concepto incluye no sólo la destrucción directa, sino cualquier dependencia de un organismo respecto a otro o respecto a los factores de la naturaleza inorgánica. Abarca la vida de uno u otro individuo y su éxito al asegurarse descendencia. De la planta solitaria que crece en el límite del desierto se puede decir que lucha con

[1] C. Darwin, *El origen de las especies,* 1952, págs. 111-112.

la sequía. También a una planta parásita como el muérdago, que produce frutos cuyas semillas distribuyen los pájaros, podemos aplicarle el concepto de lucha por la existencia: el muérdago lucha con otras plantas parásitas cuyas semillas también distribuyen las aves, atrayéndolas con sus frutos y haciendo que difundan dichas semillas. En semejantes casos, Darwin, en aras de la comodidad, considera posible utilizar el término de "lucha por la existencia".

La lucha por la existencia en la naturaleza puede resistirse a un primer examen. Exteriormente, la naturaleza da la sensación de tranquilidad y bienestar. Sin embargo, como dice Darwin, los pájaros, que cantan despreocupados, se alimentan de insectos o semillas, es decir, destruyen seres vivos. Ellos mismos, o sus huevos, son destruidos por las alimañas. En la naturaleza se observa de ordinario una abundancia de alimentos, pero eso no sucede siempre y en cualquier estación.

La lucha por la existencia se desprende de la progresión geométrica de la multiplicación de todas las especies de plantas y animales, que hay en la Tierra. Su existencia se demuestra por el hecho de que la mayoría de las especies conserva durante mucho tiempo su proporción media; esto demuestra las enormes cantidades de ejemplares de cada especie que mueren sin alcanzar la madurez sexual y sin originar descendencia.

Por ejemplo, una semilla de diente de león podría dar al cabo de diez años, si se reprodujese sin obstáculos, tal cantidad de descendientes, que necesitaría una superficie superior en 15 veces a la de todo el globo. Darwin escribe que no hay una sola excepción a la regla de que cada ser vivo sería capaz de reproducirse en tal proporción que, de no ser destruido, los descendientes de una pareja cubrirían toda la Tierra. La cuestión de si se conserva tal o cual forma en la complicada lucha por la vida, la resuelve su capacidad de adaptación a las condiciones del medio. En tales condiciones, cualquier cambio útil puede tener una importancia decisiva. El principio según el cual todo cambio de este tipo, por pequeño que sea, se conserva, lo denomina Darwin *selección natural o supervivencia del mejor adaptado*. Cualquier carácter útil en la estructura o funciones del ser, que le ofrezca ventajas en su difícil lucha por la vida, se verá fijado y fortalecido por la selección natural en la serie de generaciones posteriores. De este modo, cada carácter y cualidad del organismo puede alcanzar cualquier grado de perfeccionamiento.

Si el hombre, seleccionando únicamente los cambios visibles que le eran útiles, a veces incluso perjudiciales para el animal, ha logrado resultados excelentes, es lógico que la selección natural, que capta las más insignificantes modificaciones beneficiosas para el organismo, alcance resultados infinitamente superiores.

Así pues, la admirable armonía que se observa en la naturaleza, la utilidad estructural y funcional de todos los seres vivos, se explica por la adaptación de los organismos al medio en que viven, adaptación que la selección natural acumula y refuerza.

Relaciones mutuas que determinan la selección natural.

La selección natural, según se ha indicado, es el resultado de la lucha por la existencia en la naturaleza, que origina la destrucción de cantida-

des enormes de ejemplares de todas las especies de animales y plantas que pueblan la Tierra. Esta destrucción, suponía Darwin, se realiza como consecuencia:

1) de la lucha entre los individuos de la misma especie, derivada de la superpoblación (competencia en el seno de las especies);

2) de la lucha entre los individuos de especies diferentes;

3) de la lucha de los organismos con las desfavorables condiciones físicas de vida.

Decíamos ya que la idea de la lucha en el seno de las especies la tomó Darwin de Malthus.

El concepto maltusiano acerca de la superpoblación y de las relaciones de competencia en la sociedad capitalista, que se desprenden de ella, lo trasplantó Darwin a los reinos animal y vegetal.

Si dentro de la especie hay superpoblación, es decir, si nacen más ejemplares de los que pueden encontrar los recursos necesarios en la naturaleza, tendrá que producirse, dentro de la especie, una lucha encarnizada, como resultado de la cual perecerá la inmensa mayoría de los individuos.

Una lucha casi tan feroz se produce, según Darwin, entre las diferentes razas o variedades de la misma especie, ya que los organismos de estructura semejante tienen necesidades semejantes. De aquí se deduce que el factor más importante de la evolución es la *superpoblación* y la competencia que como consecuencia de ella se produce en el seno de la especie. Sin embargo, los argumentos a que Darwin recurre son muy débiles. En su obra, tan abundante en ejemplos, no aduce ni un solo caso tomado de la vida que confirme la competencia en el seno de la especie.

La idea de la superpoblación dentro de la especie se apoya exclusivamente en cálculos teóricos abstractos sobre el número de descendientes de una planta o de un par de animales en un determinado período de tiempo, considerando que su descendencia no fuese destruída. En realidad, esta descendencia se destruye en proporciones fabulosas como consecuencia de las otras dos causas señaladas por Darwin (antagonismo entre las especies y condiciones físicas desfavorables del medio).

Naturaleza de los obstáculos que frenan la reproducción.

Darwin se detiene con todo detalle en la naturaleza de los obstáculos que frenan la reproducción. Cuando se analizan objetivamente sus datos se observa que la destrucción de organismos es tan grande que, en general, no se llega en la naturaleza a la superpoblación en el seno de la especie.

A continuación citamos estos datos:

1. El *clima* es un factor muy importante en la determinación del número medio de individuos de la especie. La sequía y las bajas temperaturas matan anualmente cantidades enormes de animales y plantas. Por ejemplo, rebaños enteros de solípedos mueren por falta de alimentos cuando grandes territorios se cubren de una capa de hielo. La distribución geográfica de animales y plantas muestra que al desplazarse del Norte al Sur, o bien de un clima húmedo a otro seco, muchas especies disminuyen poco a poco, llegando a desaparecer. Darwin dice que el clima ejerce una influencia doble en la difusión de las especies: de manera directa, al causar daño a una especie determinada, e indirectamente, proporcionando ven-

tajas a otras. El segundo aspecto lo demuestra con evidencia el hecho de que muchas plantas importadas se prestan muy bien al cultivo en huertos, jardines, sin exigir un cuidado especial, y, sin embargo, no se naturalizan, es decir, no se hacen silvestres, no se incorporan a la flora local. Eso es así porque no pueden rivalizar con las formas locales, que están mejor adaptadas a las condiciones del medio.

2. *El antagonismo con otras especies.*

a) Muerte de los embriones y de las formas jóvenes. Los enemigos destruyen especialmente los huevos, las semillas y los individuos juveniles. Darwin se funda en su experiencia de sembrar semillas en una pequeña parcela, bien cavada y limpia, en la que los brotes no pudieran verse ahogados por otras plantas: de 357 brotes, quedaron sólo 62; los restantes los destruyeron las babosas y los insectos.

b) Destrucción por parte de los animales de rapiña. Cantidades enormes de liebres, urogallos, perdices y otros animales con pocas defensas perecen víctimas de los animales rapaces que viven a sus expensas.

c) Competencia con otras especies. Un claro ejemplo lo ofrecen las relaciones entre la langosta y los ungulados herbívoros. Las invasiones de la langosta obligan a los herbívoros que habitan la región atacada a abandonarla, ya que se ven condenados a la muerte en masa al ser destruidos los pastos por el insecto.

d) Epidemias. Si en una región limitada, debido a condiciones extraordinariamente favorables (por ejemplo, la exterminación de los animales de rapiña), una especie determinada se multiplica tanto, que la población alcanza dentro de ella una densidad determinada, suelen aparecer epidemias o epizootias, que causan su vertical descenso numérico. El ejemplo más claro lo suministran las liebres. El estudio de la oscilación del número de liebres señala que, aproximadamente, cada siete años la densidad de difusión aumenta paulatinamente y la curva alcanza su máximo, después de lo cual se observa una gran disminución, debida al desarrollo de la helmintiasis y a su muerte en masa. Epidemias análogas las sufren las perdices; los ataques de que éstas son objeto por parte de los halcones, recaen en primer lugar sobre los ejemplares enfermos y débiles, desempeñando así en cierto modo una función saneadora.

Medios de conservación del número en la especie.

Todas las especies de animales y plantas que pueblan la Tierra se destruyen en cantidades extraordinarias. A consecuencia de ello, la selección natural *ha creado numerosos medios de defensa de las especies contra su total destrucción.*

Uno de los medios fundamentales de protección de la especie contra su destrucción es una *progresión ascendente de la reproducción.* Cuanto mayor es la destrucción de una u otra especie, mayor es su fecundidad. Darwin reunió enorme cantidad de hechos demostrativos de que el número de ejemplares que constituye una especie no depende de la cantidad de huevos o semillas producidas. Las formas que son objeto de mayor destrucción son las que históricamente, a lo largo del proceso de selección natural, han desarrollado la mayor fecundidad. Si *alguna especie ha logrado medios que disminuyen su destrucción, por regla general, su fecundidad*

no será muy elevada. Por ejemplo, algunas moscas ponen muchos cientos de huevos, mientras que el hipoboso pone uno solo. El pez luna llega a poner trescientos millones de huevos, y esa misma fecundidad presentan los esturiones; en cambio los caballitos de mar y la espinocha, cuyos descendientes están protegidos contra la destrucción, ponen un número muy limitado.

El cóndor pone sólo dos huevos y el ñandú (avestruz americano) cuatro o cinco, siendo así que en un mismo país los cóndores son mucho más numerosos que las avestruces.

El albatros pone un solo huevo, a pesar de lo cual Darwin considera que es el ave más extendida de la tierra.

El botánico ruso A. N. Béketov, contemporáneo de Darwin, formuló la *"ley de fecundidad de las plantas"*, según la cual *cuanto mayor es la facilidad con que se destruye una planta, más numerosos son sus medios de reproducción.* Béketov distribuyó las plantas en una serie de fecundidad decreciente.

Las más expuestas a ser destruídas son las algas, después los hongos y los líquenes. Por eso, son también muy numerosos sus medios de reproducción, y en consecuencia su fecundidad. Los musgos se destruyen en proporción menor y sus medios de reproducción son limitados. Menor es aún el poder reproductor de los helechos. Por último, las fanerógamas, sobre todo las de tallo arborescente, son las plantas que se destruyen en menor cantidad, y de ahí que sus medios de reproducción sean los más limitados.

En una serie de formas, la concentración de gran cantidad de individuos en comparación con sus enemigos es una condición indispensable para la conservación de la especie. Hay plantas llamadas "sociales", que originan grandes macizos, incluso en los límites de su zona de extensión. Algunas de ellas son raras, es decir, que los lugares en que crecen no son muy numerosos. Cuando las gramíneas se siembran en los campos se obtienen abundantes cosechas; si estas plantas se sembraran aisladas, es probable que no se recogiese ni un solo grano, pues toda la cosecha se la comerían los pájaros.

A esta categoría de fenómenos pertenecen las agrupaciones de los animales en *colonias y rebaños;* aunque en este caso existe un elemento de defensa activa o ataque, la ventaja mutua deriva de la concentración de fuerzas y la distribución de funciones entre los individuos en las colonias. Para algunos animales (hormigas, termes, abejas) la vida en colonia ha originado un cambio de estructura de su cuerpo, de acuerdo con la división de funciones. Por ejemplo, entre las hormigas hay reproductores, obreros, soldados, etc. La selección natural ha amoldado la constitución de cada ser a las necesidades de la colonia. Como resultado de la selección natural, los instintos de los animales en interés de la conservación de la especie se han adaptado admirablemente. Incluso en los grados inferiores de organización de los invertebrados se observa la *preocupación por la descendencia.*

Los quetópodos, rotíferos y las estrellas de mar llevan consigo los huevos, que sujetan al cuerpo (fig. 321). Los moluscos construyen cobijos para sus huevos o los sujetan a su concha o sus apéndices, y hacen diferentes clases de nidos y flotadores para las crías. También se preocupan de los descendientes los crustáceos y los arácnidos.

Entre los invertebrados, los que ofrecen más interés en este sentido son los insectos, que no sólo construyen nidos complicados, sino que proveen a sus descendientes de las reservas nutritivas necesarias.

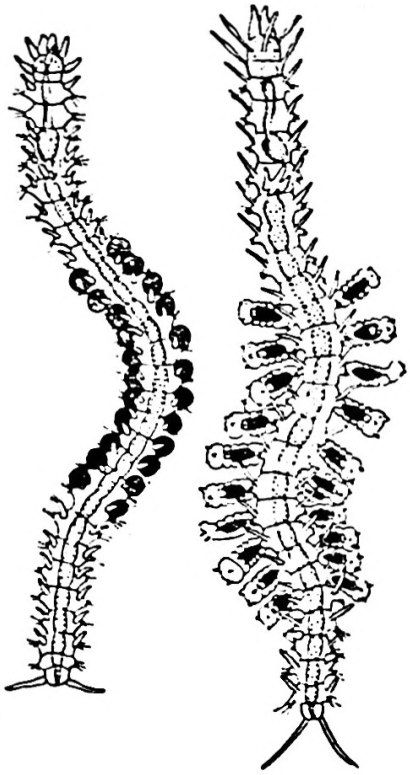


Fig. 321. Dos quetópodos.

La abeja carpintera, la abeja albañil y la abeja cestera dan muestras de una admirable habilidad constructora. La avispa cavadora (*Spehx*), que paraliza hábilmente al saltamontes clavando su aguijón en los centros nerviosos, proporciona a su prole reservas alimenticias vivas. Muchos peces, como, por ejemplo, la raya de Guinea y el caballito de mar, llevan las huevas en su cuerpo o las protegen, lo mismo que a las crías, dentro de la boca. También se preocupan de su descendencia los anfibios, el sapo comadrón, el cucurú o sapo de Surinam (*Pipa americana*), etc. (figura 322), los reptiles y las aves (fig. 323). Entre estas últimas ofrecen especial interés los pingüinos, cuyos machos y hembras se alternan en empollar el único huevo que ponen dentro de un repliegue especial del abdomen. También muestran una gran preocupación por la prole los mamíferos que durante largo tiempo cuidan, alimentan y defienden a sus crías.

La preocupación por los descendientes, así como otros medios, permiten a las especies conservar el número de individuos cuando la fecundidad no es muy elevada.

Un método que utilizan muchas formas para conservar la especie consiste en *no ser comestibles;* diferentes glándulas tóxicas u olorosas convierten su carne en venenosa o de muy mal gusto (mariposas *Anthroceridae*,

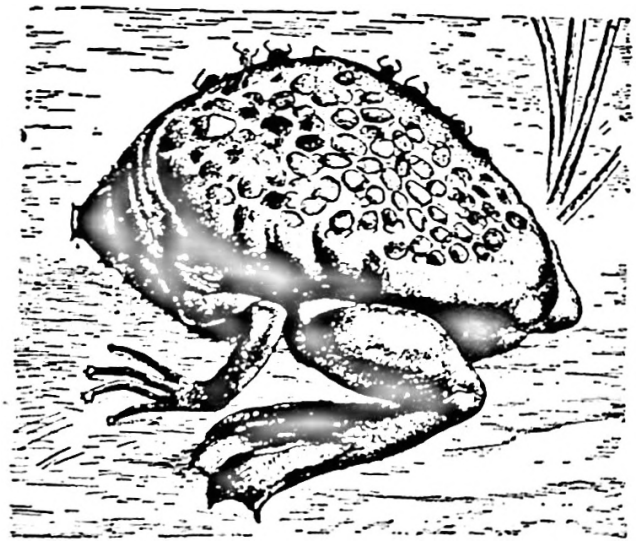


Fig. 322. Rana de Surinam (o sapo partero) con su descendencia en los alvéolos.

Fig. 323. Pingüino con su cría, que se calienta en el repliegue abdominal.

Pyochocoris apterus, *Meloidae* y mariquitas). Algunos animales lanzan a su perseguidor, mediante una glándula especial, un líquido maloliente (mofetas); otros animales están protegidos por potentes caparazones, espinas, aguijones, etc. Entre las plantas también las hay venenosas o que están provistas de espinas, púas y otros medios defensivos.

El *aspecto exterior* constituye un elemento muy importante en la conservación de la especie. Todas las formas no comestibles tienen por lo común colores llamativos, que saltan a la vista. Es a modo de una señal que permite reconocer de lejos a esos animales. Por el contrario, los animales comestibles indefensos suelen adoptar una coloración que les hace pasar inadvertidos y que corresponde al medio ambiente (homocromia): en el norte son del color de la nieve; en el desierto, amarillentos como la arena; muchos animales acuáticos son transparentes (medusas, ctenarios, etc); los insectos que viven en la hierba son verdes, etc. Los animales carniceros poseen también un color que los enmascara ante sus víctimas: por ejemplo, el color del tigre corresponde a la combinación del sol y la sombra en los cañaverales. La coloración protectora es, sin duda, útil para la conservación de la especie; por lo tanto, es resultado de la selección natural.

FIG. 324. Oruga de una mariposa geómetra, imitando a una rama seca.

Muchos animales indefensos han adquirido, en el proceso de la selección natural, una coloración y forma del cuerpo que les asemeja a las ramas, hojas, flores u otros objetos característicos del ambiente que les rodea. Este fenómeno se conoce con el nombre de *mimetismo*. Por ejemplo, las orugas geómetras se asemejan a ramitas secas; la mariposa *Liby-thea celtis*, de Crimea, cuando se posa no puede distinguirse de las hojas secas del árbol de hierro (*Celtis caucasica*), en el que viven sus orugas; los insectos palitos se parecen a las ramas secas (fig. 324), etc. A algunos animales comestibles, totalmente indefensos, les aparecen en los momentos de peligro manchas invisibles cuando están tranquilos. Ciertos saltamontes emprenden inesperadamente el vuelo, con gran ruido y dejando al descubierto sus llamativas alas posteriores, lo que desconcierta y distrae al enemigo. El mismo fin per-

FIG. 325. Oruga de *Cocytus antaeus* del Brasil: abajo, en estado de reposo; arriba, en actitud amenazadora.

siguen las *actitudes amenazadoras* (*Cocytus antaeus* del Brasil) (fig. 325), tenebrio, arañas, camaleones, *Phrynocephalus mystaceus*, etc. A veces, *los animales indefensos alcanzan una semejanza externa con otros que disponen de aguijones para protegerse*. Por ejemplo, la mariposa avispa (*Trochilium apiforme*), completamente inofensiva, imita a la avispa reina (fig. 326); una especie de mosca se parece a la avispa; una araña a una hormiga, etc.

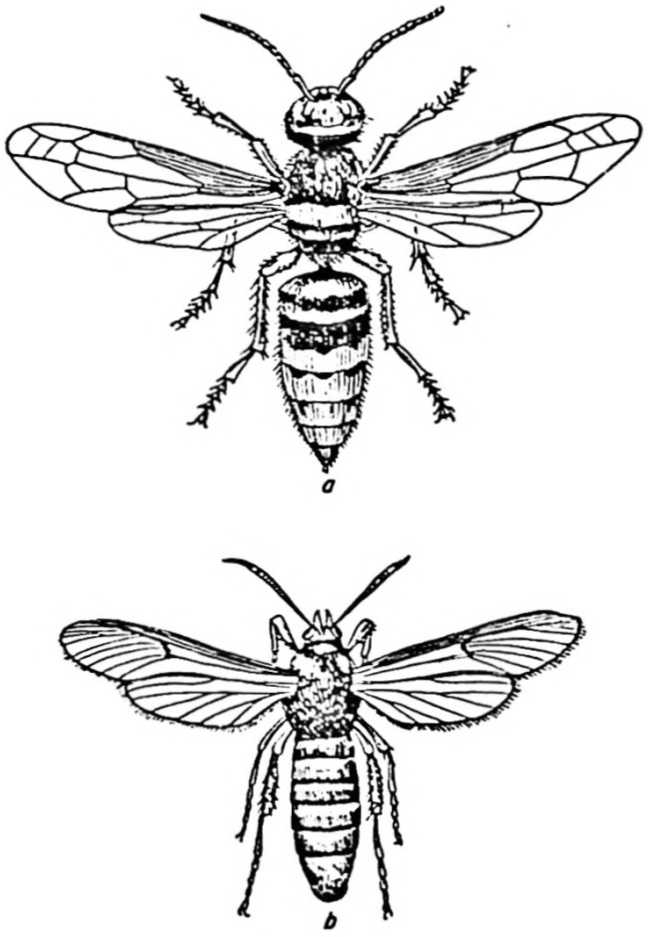


FIG. 326. Mariposa-avispa (*b*) y la avispa reina (*a*), a quien imita.

Selección sexual.

Una de las formas de la selección natural es la selección sexual. Se basa en las relaciones entre los sexos. El macho más fuerte o el más capaz de atraer a las hembras tiene más posibilidades de dejar mayor progenie. Eso depende de una serie de caracteres, que diferencian a los machos.

1. El *instinto de pelea*, que se revela especialmente en el período de celo. Los machos de los escarabajos longicornios ofrecen señales de las heridas que les causaron sus rivales. Los machos de los neurópteros se pelean a causa de las hembras. Al parecer, los que presentan más desarrollo de este carácter son los polígamos, que disponen con frecuencia de diferentes armas especiales de lucha. Ejemplos de semejantes armas los tenemos en los espolones de los gallos, los cuernos de los ciervos y en la mandíbula ganchuda del salmón macho. Los animales carniceros, que están bien armados como resultado de la selección natural, disponen también de medios para defenderse de sus rivales (por ejemplo, la melena del león). Generalmente, estas peleas no causan la muerte del vencido, pero limitan sin duda su descendencia.

2. *Apariencia más llamativa*, coloración viva, diferentes adornos que poseen los machos: moños, excrecencias, mechones de plumas, collares, barbas, crestas, etc.

El dimorfismo sexual es un fenómeno muy extendido en la naturaleza, tanto entre los vertebrados como entre los invertebrados (fig. 327). La brillante ornamentación del macho, que aparece cuando madura sexualmente, puede ser permanente o temporal. En el último caso lo adorna únicamente durante el periodo nupcial, desapareciendo luego (por ejemplo, en los peces). El dimorfismo sexual es patente en las aves, entre las cuales las

diferencias entre macho y hembra son frecuentemente superiores a las diferencias que ofrecen las especies. Así son, por ejemplo, las diferencias entres los machos y las hembras de las aves del paraíso, del faisán dorado y el colibrí (fig. 328).

3. *Potente voz* entre los machos de numerosos animales, sobre todo las aves, cuyo canto alcanza gran belleza y sonoridad en la época de celo. A veces, los sonidos musicales de los machos proceden de dispositivos especiales: el pájaro carpintero golpea con el pico el tronco de los árboles; las aves del paraíso producen sonidos por el roce del cañón de sus plumas; la cigüeña haciendo chocar las dos mitades del pico; la langosta, los grillos y los saltamontes producen diferentes sonidos por medio de los élitros, etcétera.

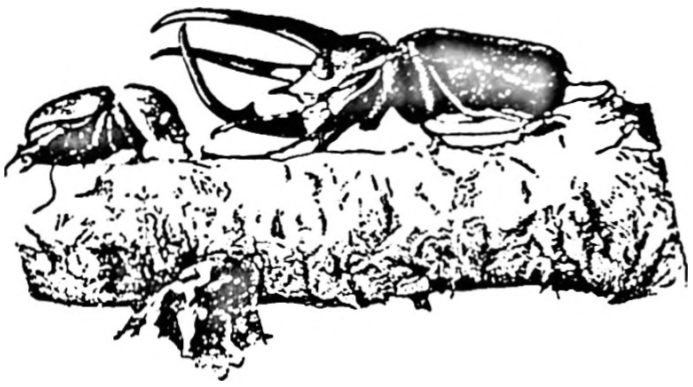


Fig. 327. Pareja de escarabajos.

4. *Diferentes medios para atraer a las hembras.* Son, entre otros, las glándulas olorosas (los machos de algunas mariposas, de los murciélagos y otros animales), las danzas de los urogallos y de los faisanes, las posturas caprichosas (arañas, diferentes pájaros), etc. (figs. 329 y 330).

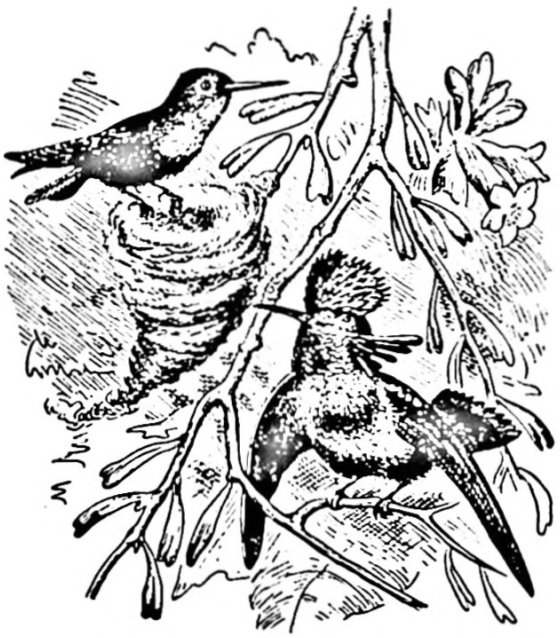


Fig. 328. Pareja de colibríes.

Todas estas características de los machos, que favorecen el aumento de su prole, las ha acumulado la selección natural.

Darwin señala el hecho de que tanto en los animales como en las plantas tiene lugar una *selectividad en el proceso de fecundación*. En las plantas de polinización anemófila, la planta madre elige el polen del vegetal que mejor le corresponde en el sentido fisiológico. Esta propiedad de selección, resultado de dispositivos que se han formado a lo largo de la historia, le es útil a la planta, y por eso la consolida la selección natural.

La *selección natural se caracteriza por las siguientes propiedades*:

1. A diferencia de la selección artificial, la natural acumula únicamente los cambios que son útiles al animal o a la planta.

2. La selección revela su actividad creadora tan sólo cuando hay reproducción. Si el ejemplar logra cambios importantes para él, pero que disminuyen su fecundidad o le hacen estéril, la selección pierde su fuerza.

3. La selección natural puede dar lugar a la aparición de un nuevo instinto útil a otros ejemplares de la misma especie. Por ejemplo, los pelíca-

nos pescan en común para lo cual avanzan en hilera y batiendo las alas, y obligan a los peces a reunirse en lugares poco profundos, donde les es fácil cogerlos.

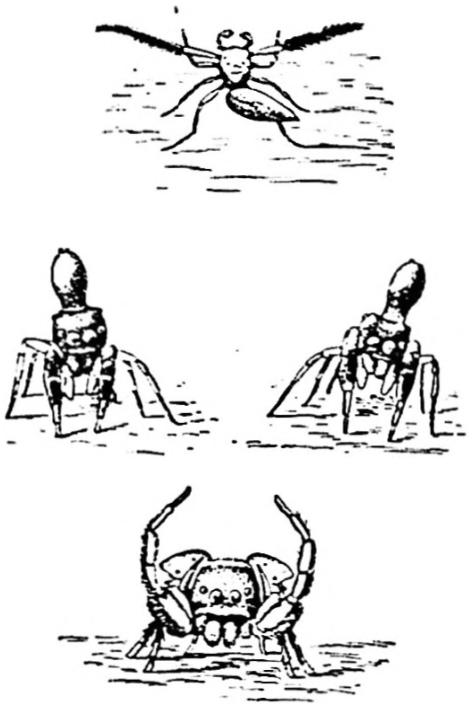


Fig. 329. Actitudes que adoptan los machos de las arañas al aproximarse a las hembras.

Fig. 330. Danza del faisán.

4. Los cambios útiles a la especie, consolidados por la selección natural, son a veces perjudiciales para los individuos aislados. Por ejemplo, los animales que viven en colonias han adquirido, gracias a la selección natural, un instinto que les conduce a veces a morir para defender los intereses de la colectividad; la abeja muere después de haber clavado el aguijón; las hormigas y los termes perecen en defensa de sus hormigueros: el instinto materno puede conducir a la madre a morir defendiendo su prole.

5. La selección natural mantiene y perfecciona cualquier carácter útil para la conservación de la especie; si el carácter es de importancia decisiva, no importa que se utilice una sola vez en la vida, como les sucede a algunos reptiles con el "pico", que les es necesario únicamente para romper el cascarón, o las potentes mandíbulas de los insectos, cuyo objeto es abrir el capullo.

6. La selección natural actúa sobre los organismos en diferentes edades y acumula los cambios que son ventajosos en una edad determinada y que, al ser heredados, se revelan en los descendientes a la misma edad.

7. Los cambios característicos de una edad determinada en razón de la ley de correlación pueden influir en otras edades, pero la selección natural asegura su carácter inofensivo; de lo contrario, la especie se extingue.

8. Gracias a la selección natural pueden adaptarse la organización y los instintos de dos especies diferentes en beneficio común (la simbiosis de las plantas antófitas con los insectos que las polinizan, la simbiosis del cangrejo ermitaño con la actinia, etc.).

9. Los caracteres neutros e inútiles pueden también, al parecer, fijarse me-

diante la selección natural si están unidos por correlación a otros caracteres de importancia vital. Sin embargo, es difícil resolver si uno u otro carácter o cualidad del organismo es inútil, pues lo que a primera vista lo parece tiene, a veces, un profundo alcance biológico, no descubierto de momento.

Relatividad de los dispositivos originados por la selección natural.

Darwin señala, con razón, que las adaptaciones originadas por la selección natural no son absolutas: tienen sólo un carácter *relativo* y temporal. Cada adaptación se ha originado teniendo en cuenta condiciones determinadas y concretas del medio exterior y es favorable respecto a ellas. Prueba de ello es la presencia en los animales (y en el hombre) de una gran cantidad de órganos *vestigiales*. Estos órganos desempeñaron en un tiempo un importante papel en la vida de la especie que los poseía; después, al variar las condiciones de vida, se hicieron innecesarios, dejaron de realizar su función característica y comenzaron a reducirse (desarrollo regresivo). Por ejemplo, la ballena, al amoldarse a la vida en el agua, perdió las extremidades posteriores, y las anteriores se convirtieron en aletas. Sin embargo, su esqueleto conserva los vestigios de la cintura pelviana y de los apéndices (véase fig. 353).

No existen dispositivos protectores que garanticen totalmente contra la destrucción; ni un solo animal o vegetal, por muchas que sean sus defensas, deja de estar sujeto en mayor o menor grado a ella.

La tortuga, muy bien protegida por su caparazón, es víctima de las águilas. Muchas de estas aves de rapiña le arrancan con las garras la carne por los orificios de la concha. La zorra se apodera de los erizos empujándolos con la pata hacia un charco, donde tienen que abrirse, haciéndose vulnerables. Algunas especies de animales se han acostumbrado a comer plantas espinosas. Los insectos no comestibles de tonos llamativos pierden muchos de sus representantes antes de que la experiencia advierta a los insectívoros jóvenes que no los pueden comer. El color protector no garantiza plenamente contra la destrucción. El mimetismo contribuye a conservar la especie solamente en el caso de que el que recurre a él sea poco numeroso en comparación con la especie que le sirve de modelo; de lo contrario, pierde su valor.

Relaciones mutuas en la naturaleza.

Darwin habla de una complicada cadena de relaciones que enlazan en la naturaleza todas las especies existentes de plantas y animales en un todo único. *Los cambios que se producen en un eslabón de esta cadena producen indefectiblemente cambios correspondientes en todos los demás.* Darwin ilustra estas relaciones con ejemplos muy claros: los abejorros polinizan el trébol, y por tanto su cosecha depende de la cantidad de estos insectos; los ratones destruyen los nidos de abejorros, y perjudican al trébol, disminuyendo su cosecha; los gatos destruyen los ratones y con ello ayudan al aumento reproductivo del trébol.

En la ganadería extensiva que se practica en las praderas de América del Sur, los animales se convierten fácilmente en salvajes; sin embargo, esto no sucede en Para-

guay, porque, según se ha comprobado, existe una mosca que pone los huevos en el ombligo de los recién nacidos, a consecuencia de lo cual éstos no pueden sobrevivir sin los cuidados del hombre. Esta mosca no se encuentra más que en Paraguay, pues su propagación depende de otros insectos parásitos que viven en aquellos lugares. De ahí, concluye Darwin, que si el número de aves insectívoras disminuyera en Paraguay, los insectos parásitos se multiplicarían, lo que no dejaría de reflejarse en la disminución de la cantidad de moscas que ponen los huevos en el ombligo de los animales agrícolas. Entonces, el ganado vacuno y caballar se volvería salvaje y esto haría cambiar notablemente el carácter de la flora, lo que de nuevo repercutiría sobre los insectos, y éstos influirían a su vez sobre las aves insectívoras, etc., "...a modo de círculos que se amplían cada vez más y se entrelazan hasta lo infinito".[1]

Darwin dice que, realmente, en la naturaleza las relaciones son mucho más complejas. "Las batallas se suceden con éxito alterno y, sin embargo, a la larga, las fuerzas están tan equilibradas que externamente la naturaleza permanece invariable durante largos períodos."[2] Si en un lugar determinado se producen cambios en las condiciones climatológicas o físicas, o de otra clase, a consecuencia de los cuales perece una especie o, por lo menos, varía su proporción, esto se refleja al momento en todos los habitantes de ese lugar, independientemente de la influencia directa de las causa inicial.

Reproducción cuando la destrucción se limita y las especies se diseminan.

Si disminuye la destrucción de cierta especie a consecuencia de causas determinadas, su cantidad aumenta verticalmente y la especie *se extiende, abarcando nuevos territorios.* Así nos lo demuestra fácilmente el ejemplo de algunos animales domésticos que fueron llevados a diferentes países, como ha sucedido en Australia con los conejos. Allí, estos inofensivos animales se han convertido en una verdadera plaga, que destruye los cultivos de extensísimos territorios. Casi con la misma rapidez se han naturalizado y reproducido en América del Sur y Australia el ganado vacuno, los perros y los caballos. Las ratas, que fueron a parar casualmente a la isla de Tristán, se multiplicaron de tal modo, que acabaron rapidísimamente con todos los gatos traídos especialmente para combatirlas.

Hechos semejantes se conocen en el reino de las plantas. La bardana y el cardo lechoso, plantas de origen europeo, han alcanzado en La Plata gran preponderancia, llegando a cubrir enormes extensiones y acabando casi totalmente con cualquier otra vegetación. Algunas plantas, corrientes actualmente en la India, proceden de América.

Todos estos vegetales se multiplicaron sin obstáculo, al no encontrar los enemigos que los destruían en sus lugares de origen.

La especie que logra determinadas ventajas, que disminuyen su destrucción, comienza a extenderse, *avanzando hacia otros lugares geográficos,* donde sufre la acción de nuevas condiciones del medio. Bajo la influencia de estas nuevas condiciones de vida, la especie establece complicadas relaciones con otras formas y *se modifica.*

[1] C. Darwin, *El origen de las especies,* 1952, pág. 133.
[2] Ibidem, pág. 134.

Causas de la extinción de las especies y circunstancias que favorecen su formación.

Al analizar las causas de la extinción de las especies y las circunstancias que la favorecen, Darwin llega a la conclusión que *la expansión de una especie va unida a su cantidad*. Debido a las relaciones que rigen en la naturaleza, el incremento de una especie lleva consigo la disminución de otra u otras. *Las especies que disminuyen en cantidad se encuentran cada vez menos, hasta que desaparecen totalmente.*

Darwin escribe: "la escasez de una forma es, como nos enseña la geología, el anuncio de su extinción. Para nosotros está claro que cualquier forma representada por un número reducido de ejemplares, tiene muchas posibilidades de desaparecer definitivamente durante las grandes oscilaciones climatológicas o a consecuencia de un aumento esporádico de sus enemigos."[1] Las especies que poseen mayor número de individuos producen con mayor frecuencia variedades.

Por consiguiente, una de las condiciones fundamentales que favorecen la formación de especies es la *gran cantidad de individuos*. Darwin considera también de igual importancia, como premisa para la modificación de una especie, la diversidad de condiciones en que ésta vive. Por tanto, es también condición que propicia la formación de especies el *elevado grado de su variabilidad*. Darwin estima asimismo que *posibilidades de diseminación amplias* favorecen en gran escala la formación de especies. Estudia las ventajas del *aislamiento* para el proceso de formación de especies, que son las siguientes: cuando varían las condiciones de existencia (por ejemplo, al variar el clima) se imposibilita el acceso a una región determinada de formas que gozan de ciertas ventajas respecto a las locales, lo que garantiza a estos representantes locales de la flora y la fauna el tiempo necesario para modificarse de acuerdo con las nuevas condiciones de existencia. Además, el aislamiento elimina el cruce con otras formas.

Sin embargo, ello tiene su contra, pues la pequeña extensión de la región aislada hace que el número de sus habitantes sea reducido, lo cual retrasa el proceso de formación de especies.

Las tres causas arriba enunciadas, que favorecen el proceso de formación de especies, caracterizan las condiciones de vida en los grandes continentes; la última corresponde a las islas que se encuentran en el océano o en otros lugares aislados por obstáculos naturales. Sin embargo, para decidir qué es lo que más favorece la creación de nuevas formas, si una pequeña región aislada o una región continental, hay que comparar su flora y su fauna a lo largo de determinado período histórico. Semejante comparación habla indudablemente en pro de que los *grandes continentes son el lugar en que se realiza con mayor intensidad el proceso de formación de especies* y que ofrecen incomparables ventajas respecto a los territorios pequeños y limitados. Por ejemplo, si comparamos la flora europea con la de la pequeña isla Madera, veremos que la de esta última recuerda la que existió en Europa y se extinguió en el Terciario. Los animales llegados del gran continente eurásico y que se naturalizan en las islas eliminan a la fauna local, que presenta formas menos perfectas. Los ríos y los lagos de agua dulce son, en su conjunto, un reducido territorio comparado con el mar

[1] C. Darwin, *El origen de las especies*, 1952, pág. 158.

o la tierra firme, y es precisamente allí donde se han conservado los animales más primitivos, como son, por ejemplo, los representantes del orden de los peces ganoideos o condrosteos (esturión, *Acipenser ruthenus, Acipenser stellatus*, etc.), que en cierta época predominó, y también formas vivas "fósiles", como el ornitorrinco, los peces dipnoos, etc.

Apoyándose en todos estos datos, Darwin llega a la conclusión acertada de que el proceso de formación de las especies se realiza con mayor intensidad en los grandes continentes. Esta conclusión concuerda mal con su punto de vista de que la competencia dentro de la especie, resultado de la superpoblación, es el factor principal en el proceso de creación de formas. Si admitimos que la superpoblación constituye la base del proceso formativo, habremos de reconocer que el lugar donde la formación de las especies ha de ser más intensa son las pequeñas islas, ya que en ellas se llega a la superpoblación con mayor rapidez que en los grandes continentes, donde existen amplias posibilidades para que las especies se diseminen y son muy complejas las relaciones entre sus diferentes habitantes.

Si bien Darwin, influido por el espíritu de su época, reconoce de palabra el principio maltusiano de la superpoblación, toda la enorme cantidad de datos acumulados por él va en realidad contra tal principio.

CRITICA POR LOS DARVINISTAS RUSOS DE LAS CONCEPCIONES MALTUSIANAS DE DARWIN

Las concepciones maltusianas de la teoría de Darwin fueron objeto de la crítica de sus contemporáneos y continuadores A. N. Béketov e I. I. Méchnikov y, actualmente, de T. D. Lisenko y otros.

Contra tales concepciones hablan los datos reunidos por el mismo Darwin y también la anteriormente mencionada "ley de fecundidad de las plantas", de Béketov (véase pág. 479).

Méchnikov acumuló gran cantidad de informes demostrativos de que, en condiciones favorables para una posible superpoblación, no se observa un intenso proceso evolutivo, sino, por el contrario, una paralización y la conservación de las formas arcaicas. Se apoya en la gran constancia de las plantas europeas de agua dulce, cuya antigüedad se remonta a una época anterior a la formación de los Alpes e incluso de los Pirineos. Lo mismo advierte en cuanto a la población de las islas oceánicas, que son muy pobres en especies.

De aquí deduce Méchnikov que *en el proceso de formación de especies corresponde un papel decisivo a la lucha de muchas formas heterogéneas.* Resalta las *contradicciones* de Darwin, en particular, *acerca de la conservación de las formas inferiores paralelamente a la ssuperiores.* Darwin afirma que algunas formas inferiores se han conservado gracias al aislamiento en que viven, al margen de los competidores; por ejemplo, en la arenosa y árida costa del Brasil Meridional, el único competidor de las apendicularias lo constituye una determinada especie de gusanos segmentados.

En este punto olvida Darwin el principio maltusiano, según el cual los competidores más fuertes son los individuos de la misma especie; por lo tanto, dichas condiciones deberían dar lugar a una lucha más intensa, cosa que no se observa.

Todos estos hechos hablan en contra de la idea de la superpoblación

como factor que rige el proceso evolutivo. La interpretación maltusiana de la fecundación como la fuente de la lucha dentro de la especie, lucha que conduce a su disminución, no concuerda con su indudable importancia como uno de los *aspectos fundamentales de la supervivencia de la especie* en su lucha con otras especies.

Los científicos soviéticos han hecho un análisis de los ejemplos a que se suele recurrir para demostrar la superpoblación dentro de la especie: la multiplicación del diente de león y de los bosques naturales.

Lisenko ha demostrado que la "progresión geométrica" con que se reproduce el *Taraxacum kok-saghys,* productor de caucho, es casi insuficiente para iniciar su destrucción. La siembra esparcida que se utilizaba al principio (para evitar la competencia dentro de la especie) no proporcionaba una cosecha de semillas suficiente para ampliar el área de siembra. La siembra grano a grano no rendía ni siquiera la cantidad de semillas utilizadas, o a veces no llegaba la planta a brotar (debido a la destrucción de las semillas y los brotes por sus numerosos enemigos).

F. A. Dvoriankin analizó las relaciones que aseguran la existencia de los bosques naturales y demostró que una densidad determinada de vegetación de las diferentes capas verticales o pisos del bosque, es la condición natural de su existencia.

La siembra abundante en condiciones de destrucción masiva asegura la reserva necesaria de gérmenes de vida que repiten, mediante siembras espontáneas puras (o mixtas), una nueva sustitución de los pisos. Solamente así se crean las condiciones favorables para la vida de los ejemplares adultos y los árboles jóvenes: humedad necesaria, sombra y protección contra los tormentas. El bosque subsistirá mientras haya un número determinado de árboles y se dé la determinada correlación establecida de los ejemplares que lo componen. Si se alteran estas condiciones, bien desde fuera o como resultado de otros cambios en los procesos de la vida del conjunto, se adentrará más y más en el área del bosque la flora de la estepa, lo que conducirá, como ha demostrado V. R. Williams, a la desaparición del bosque. El bosque claro ofrece tan sólo aparentes ventajas para el desarrollo de los árboles aislados, significa el comienzo del fin, y por tanto es fatal para sus componentes.

Por este motivo, los bosques naturales no confirman la lucha dentro de la especie como resultado de la superpoblación; al contrario, evidencian las ventajas del crecimiento conjunto de muchos individuos de la comunidad. Esta ventaja predomina sobre los inconvenientes a que se ven sometidos.

En la naturaleza, debido a las enormes destrucciones ocasionadas por el antagonismo entre las especies y a la muerte por condiciones climatológicas desfavorables, la superpoblación dentro de la especie parece ser un fenómeno bastante raro.

La especie vive y progresa en lucha y en relación con otras especies, amoldándose a las diferentes condiciones de la naturaleza viva que la rodea. Así, Lisenko ha propuesto que, al analizar las fuerzas motrices de la evolución, no se hable de superpoblación, sino de *supervivencia*[1].

[1] No todos los científicos están de acuerdo con la opinión de que, como regla general, no hay superpoblación en la naturaleza y que entre los indiviluos de una especie no tiene lugar una competencia que repercuta en la selección natural. (*Nota de la Redacción*).

LA ESPECIE Y EL PROBLEMA DE SU FORMACION

Al analizar el concepto de "especie", Darwin llega a la conclusión de que ninguna de las definiciones taxonómicas existentes puede considerarse como satisfactoria, y hace una crítica tanto del criterio morfológico de determinación de la especie (según las diferencias estructurales) como del fisiológico (imposibilidad de cruzamiento).

Para demostrar la insuficiencia del criterio morfológico señala la gran cantidad de especies "dudosas", es decir, aquellas que unos consideran como variedades, mientras que para otros constituyen especies distintas. Darwin cita gran número de ejemplos en los reinos animal y vegetal.

El criterio fisiológico considera la imposibilidad de cruzamiento entre representantes de diferentes especies y su posibilidad entre variedades distintas de la misma especie. Darwin afirma que este rasgo no constituye una regla absoluta. Ya él conocía algunos híbridos de especies distintas, como son, por ejemplo, el de cerdos europeos y chinos, de gansos europeos y chinos, de bisontes y ejemplares de ganado vacuno, etc. Darwin cita también ejemplos de indiscutibles variedades que, al cambiar las condiciones de vida, perdieron la facultad de cruzarse con los seres más próximos: por ejemplo, el gato paraguayo, llevado de Europa, perdió la capacidad de cruzarse con el europeo; los conejos de Puerto Rico, llevados de Europa a fines del siglo XV, no se cruzan ya con los europeos; lo mismo les sucede a los conejillos de Indias europeos y brasileños.

Darwin ofrece ejemplos análogos de plantas: ciertas variedades de maíz y *Verbascum* ya no dan mestizos.

Estos hechos demuestran, según Darwin, la imposibilidad de señalar diferencias absolutas que caractericen la especie y la variedad. Por eso llega a la conclusión de que las especies son únicamente variedades que han alcanzado un mayor grado de *diferenciación* o *separación,* que se han *diferenciado.* Para confirmar el origen de las especies a partir de las variedades, Darwin aduce los siguientes hechos:

1) Las especies representadas por un gran número de individuos y más extendidas producen con mayor frecuencia variedades.

2) Las especies de las grandes familias tienen mayor número de variedades que las de familias pequeñas.

3) Las diferencias entre especies pertenecientes a familias grandes son menores que las de especies de familias pequeñas, es decir, que aquéllas se asemejan a variedades de una misma especie.

Esta semejanza se acentúa por el hecho de que las especies de las grandes familias, lo mismo que las variedades de una especie, ofrecen límites de extensión restringidos; donde se han formado muchas variedades de la misma familia existían y probablemente existen condiciones que favorecen la variación y, por lo tanto, continúa el proceso de creación de especies. Aparecen diminutos cambios individuales, que, al acumularse en una serie de generaciones, dan lugar a diferencias que caracterizan las variedades y, finalmente, a diferencias de especie.

Por lo tanto, Darwin considera las diferencias individuales como los primeros pasos para la formación de variedades, y estas últimas como transición en la formación de subespecies y especies. Darwin define la *variedad como el "comienzo de la especie", y la especie, como "una variedad muy acusada".*

Sin embargo, las especies "dudosas" constituyen una excepción. Entre las especies no suele haber en la naturaleza formas transitorias: los límites de las especies suelen ser muy claros.

La inmensa mayoría de las especies no se cruzan unas con otras sin que el hombre recurra a medidas artificiales, encaminadas a superar la resistencia a los cruzamientos. Por eso, Darwin tuvo que explicar la ausencia de formas transitorias y la causa de la aparición de profundas diferencias dentro de una misma especie.

A este fin, Darwin establece la analogía con la aparición de razas muy distintas de animales domésticos. Considera que las profundas diferencias entre las razas de palomas, ganado vacuno y caballar, etc., no pueden explicarse únicamente por la acumulación de variaciones semejantes en la serie sucesiva de generaciones. Opina que la diferenciación de caracteres entre las razas de animales domésticos se debe a que los aficionados y los seleccionadores comerciales no aprecian los ejemplares intermedios y procuran obtener casos extremos. Por ejemplo, unos colombófilos se fijaron en las palomas de pico algo más corto que lo normal; a otros, en cambio, les llamaron la atención las palomas de pico más largo que lo corriente. En ambos casos, se consideraron como imperfectas todas las formas intermedias. Así es como apareció la raza de volteadoras. Lo mismo debió suceder con los caballos. Darwin considera admisible la hipótesis de que en la Antigüedad los componentes de una tribu tuvieron necesidad de caballos rápidos; a otros, en cambio, les podrían hacer falta caballos capaces de trasladar grandes pesos. Las primeras diferencias entre los caballos podrían ser insignificantes, pero con el tiempo, a consecuencia de la constante selección de los caballos más rápidos, por un lado, y de los más resistentes, por otro, estas diferencias siguieron aumentando y dieron lugar a dos subrazas. En el transcurso de los siglos, estas subrazas se han transformado en dos razas de carácter muy distinto. A medida que los caracteres e iban diferenciando, se prescindía en la tribu de los caballos de caracteres intermedios (no muy rápidos y no muy fuertes), y poco a poco éstos acabaron por desaparecer.

Darwin ve la causa de la diferenciación de los caracteres, que conduce a la formación en la naturaleza de límites entre las especies, en las ventajas obtenidas por los descendientes de una determinada especie, cuando ésta ha logrado cambios diversos. Cuanto más variada sea la descendencia, mayor será el número de posibilidades que obtenga la naturaleza.

Darwin cita como ejemplo una de las especies de animales de rapiña, cuyo número alcanzó, por término medio, el límite que es capaz de mantener y dar cabida un determinado país. El aumento ulterior de los individuos de esta especie sería posible únicamente si sus descendientes modificados invadiesen lugares ocupados por animales de otras especies, lo cual sucedería si adquiriesen la posibilidad de alimentarse con nuevas presas, vivas o muertas, y se trasladasen a otro medio ambiente; aprendiesen a trepar por los árboles, a vivir en el agua, etc., o si, por último, se hiciesen menos carnívoros. Por eso, supone Darwin, la selección natural conservará los organismos que más se diferencien en sus caracteres.

Darwin recurre también a ejemplos del reino vegetal para demostrar las ventajas que ofrece la diferente estructura. Cita el caso de las 260 especies de plantas que se naturalizaron e incorporaron a la flora norteamericana, las cuales pertenecían a 162 familias, es decir, que eran de extraordinaria variedad.

Apoyándose en todos estos hechos, Darwin formula la ley de que *la mayor suma de seres se realiza mediante la mayor variedad estructural.*

De aquí deduce que pueden sobrevivir y dejar descendientes únicamente los organismos que han diferenciado sus caracteres. Este proceso, que ha continuado a lo largo de siglos, da lugar, según Darwin, a que se acumulen diferencias, que corresponden a especies, familias y otras categorías taxonómicas. Así es como surgió la teoría de Darwin sobre la *evolución divergente*, es decir, la evolución basada en la separación de los caracteres. Todos los datos concretos presentados con anterioridad por Darwin demuestran, como ya hemos señalado, que en el proceso de la evolución, el papel fundamental corresponde a la lucha entre las especies y a la lucha de los organismos con las condiciones desfavorables de la naturaleza no viva. Así lo confirman también los ejemplos presentados especialmente por Darwin para ilustrar la diferenciación de caracteres en la naturaleza. Eso ocurre con el ejemplo anterior de una de las especies de animales de rapiña, en que su diferente progenie disputa el lugar y la alimentación a los representantes de otras especies, expulsándolos y adueñándose de su sitio en la naturaleza. Sin embargo, al analizar las causas de la divergencia, Darwin vuelve al problema de la superpoblación. Le resulta cómodo atribuir la aparición de intervalos en la serie del desarrollo de las formas del mundo orgánico a la destrucción de los ejemplares más semejantes dentro de la especie. Esta opinión de Darwin tampoco se ve confirmada por los correspondientes ejemplos tomados de la realidad.

En su obra *Origen de las especies* Darwin cita dos veces la frase latina "Natura non facit saltum" ("la naturaleza no da saltos"); verdad es que él mismo la considera "un tanto exagerada". Esta interpretación reduce el proceso de desarrollo a cambios cuantitativos y está en contradicción con el espíritu progresivo de la doctrina de Darwin.

El materialismo dialéctico enseña que cualquier paso de un estado cualitativo a otro representa un salto, una interrupción de la continuidad. *Los saltos en el paso de un estado cualitativo a otro constituyen la ley universal del desarrollo.* Este proceso se realiza de diferente manera, según el carácter del fenómeno y también según las condiciones concretas en que transcurre el proceso.

Los cambios radicales que caracterizan el paso a una nueva cualidad, pueden realizarse en unos casos mediante una *mutación* y en otros por la extinción *gradual* de la vieja cualidad y una acumulación de los elementos de la cualidad nueva; pero incluso en este último caso, los saltos que tienen lugar mediante el paso gradual de la cualidad antigua a la nueva no pueden reducirse a cambios cuantitativos.

F. Engels escribía: "La transición de una forma de movimiento a otra, por muy gradualmente que se realice, representa siempre un salto, un viraje decisivo."[1]

Ejemplos de la aparición de cambios bruscos por saltos (por medio de mutaciones) se conocen hace tiempo. En 1590, en Alemania, en un vivero de plantas medicinales, se registró (Sprengel) la aparición de una nueva celidonia de hojas laciniadas, en condiciones que excluían totalmente el cruce con otras especies (en Europa no existían especies con las que pudiera cruzarse la celidonia). Esta nueva especie recibió el nombre de *Chelidonium*

[1] F. Engels, *Anti-Dühring*, 1953, pág. 63.

laciniatum); derivó de la especie *Chelidonium majus* sin ninguna forma de transición, y hoy día se sigue cultivando en los jardines botánicos (figura 331). También en una generación, a partir de una fresa corriente de hojas divididas en tres segmentos (*Fragaria vesca*), apareció una fresa de hojas simples, que recibió el nombre de *Fragaria monophyla* (Duchenne, 1761) y se cultiva en Francia a la vez que la fresa ordinaria. Darwin conocía también ejemplos de aparición de profundos e inesperados cambios: "Algunos cambios útiles al hombre —escribe— pudieron aparecer inesperadamente o de un salto; por ejemplo, muchos botánicos consideran que las brácteas de cardar, a las que no puede sustituir ningún dispositivo mecánico, son únicamente una variedad de la especie natural *Dipsacus*, y que la desviación de estos límites pudo tener lugar inesperadamente en una planta procedente de semilla. Lo mismo puede decirse, probablemente, de los perros pachones, y se sabe con seguridad respecto de la oveja de Ankon"[1] (fig. 332). S .I. Korkhimski (1899) reunió gran cantidad de datos sobre la aparición de nuevas formas como resultado de saltos; estos datos se refieren principalmente a plantas, aunque también cita ejemplos del reino animal.

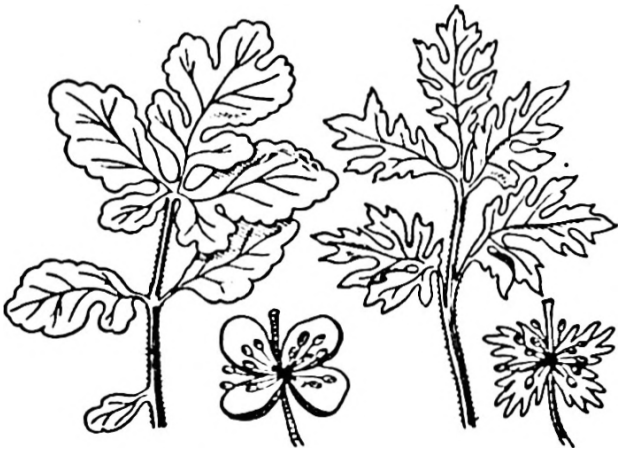


FIG. 331. Hojas y flores de dos formas de celidonias: a la izquierda, de hojas lobuladas; a la derecha, de hojas laciniadas.

Es de gran interés el material presentado por De Vries (1901) sobre sus observaciones realizadas con la *Oenothera Lamarkiana*, y también los casos descritos por él de crisantemos que aparecieron con flores dobles y la linaria con flores en forma de dedal. Una onagrácea que fue encontrada en un patatal abandonado y después cultivada en el Jardín Botánico de Amsterdam dio casi cada año nuevas formas que conservaban sus caracteres constantes en las generaciones sucesivas.[2] Así apareció la forma enana (*Oenothera manella*), la de hojas delgadas con el pigmento antocianina muy desarrollado (*O. rubrinervis*), la forma monosexual femenina con anchas hojas de corto pedúnculo (*O. lata*), la gigante (*O. gigas*) y otras (fig. 333). Por cierto que la *O. gigas* era poliploide (tenía doble número de cromosomas). El cruce con la forma inicial daba descendientes de tipo intermedio, de fecundidad reducida (lo mismo que en la hibridación entre especies). Todas estas formas aparecieron sin ninguna clase de transiciones.

FIG. 332. Oveja de Ankon.

[1] C. Darwin, *El origen de las especies*, 1952, pág. 104.

[2] Algunos biólogos piensan que la *Oenothera Lamarkiana* es un complicado híbrido de especies distintas.

Korzhinski, y luego De Vries, dieron una interpretación autogenética falsa a los hechos reales descritos por ellos.

Ambos consideraban que la mutación que da lugar a la creación de nuevas formas no se relaciona con influencias del medio exterior. "Queda aún sin aclarar cuáles son las causas de estas mutaciones," escribe Korzhinski.

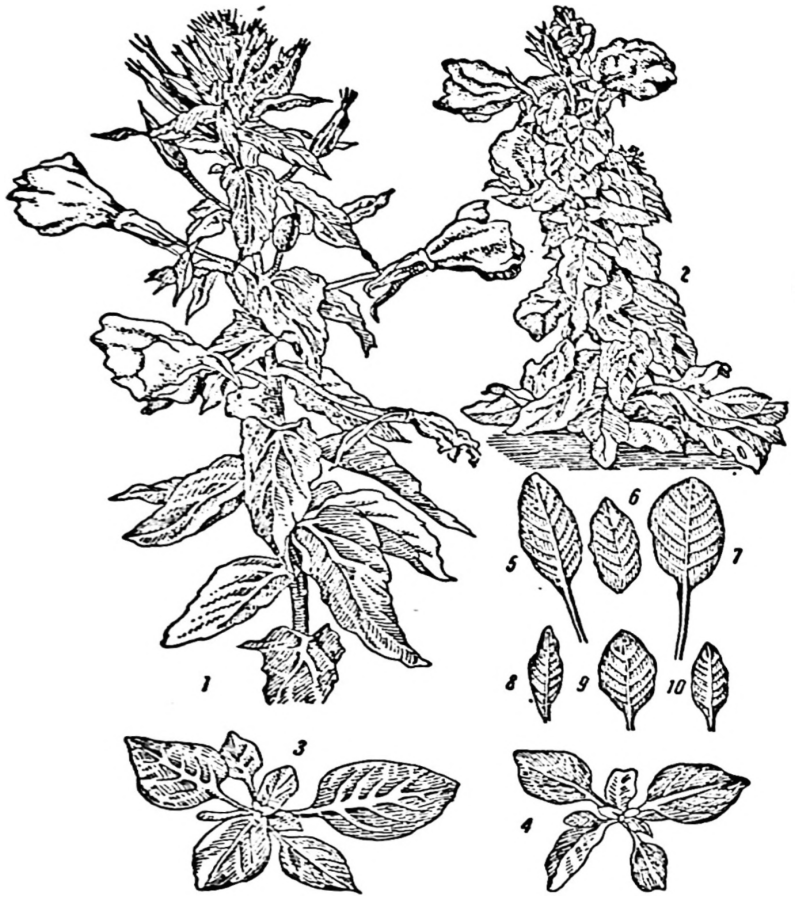


FIG. 333. Variaciones de la enotera: 1, parte superior de un ejemplar de *Oenothera Lamarkiana* en floración; 2, *O. nanella*, planta completa (igual escala); 3, planta joven de *O. gigas;* 4, *O. Lamarkiana;* 5, hojas de *O. Lamarkiana;* 6, *O. nanella;* 7, *O. gigas;* 8, *O. rubrinervis;* 9, *O. lata;* 10, *O. scitillans.*

Según De Vries, la mutación se debe únicamente a cambios internos de las unidades hereditarias, los "pangenes". Hasta entonces la especie conserva su constancia durante miles de años. Los saltos de Korzhinski y De Vries no tienen nada de común con la interpretación dialéctica del salto, ya que niegan los cambios cuantitativos que los preparan.

Pertenece a Lisenko el mérito de haber dado la interpretación acertada, según el materialismo dialéctico, de las causas de la transformación de las especies como resultado de grandes saltos. Semejante transformación de la especie tiene lugar cuando sus individuos se encuentran en condiciones que *difieren profundamente* de las necesidades que tenían a lo largo de la historia. Esta transformación es fruto del debilitamiento de la base hereditaria, del establecimiento de nuevas relaciones con el medio exterior y de un nuevo tipo de metabolismo. En tales condiciones, se van acumulando modificaciones invisibles en la actividad vital de los organismos, las cuales conducen, en última instancia, al salto, a la modificación visible, que se traduce en el cambio de los caracteres morfológicos propios de la especie, una mutación. Lisenko ha descrito gran cantidad de ejemplos de transformación de especies cultivadas sin que se originen formaciones intermedias. En sus ejemplos de cambios específicos bajo la influencia de modificaciones en las condiciones de vida, aparecen especies ya existentes (en la espiga de trigo, granos de centeno; en la de la avena, avena fatua, etc.)[1] Las especies surgidas en las nuevas condiciones, que aparecieron en tales casos, estaban más adaptadas a esas nuevas condiciones y fueron eliminando la especie que las originó, es decir, entablaron con ella relaciones de competencia.

También Darwin conocía ejemplos de aparición de formas ya existentes. Cita, por ejemplo, el caso de la aparición de melocotones árabes a partir de melocotones corrientes, como resultado de mutaciones somáticas (sports), y también a partir de sus semillas; y el caso contrario, la aparición de melocotones corrientes a partir de los árabes.

Las condiciones artificiales del invernadero favorecen la aparición de muchas especies de nuevas fanerógamas, que no existían en la naturaleza. En las condiciones naturales hay también un proceso de creación de formas. Sin embargo, siempre es de solución dudosa el problema de si una nueva forma se ha de incluir dentro de la categoría de especie o de variedad.

Lisenko lo explica por el hecho de que la especie como categoría sistemática no siempre coincide con el concepto biológico. Por eso, los casos en que unas especies engendran otras que ya existían le parecen convincentes y de gran valor.

Lisenko considera la especie *biológica* como un *estado cualitativo* especial y *determinado de las formas de la materia viva*. En la definición de especie incluye *relaciones determinadas* entre los ejemplares que la constituyen. Estas relaciones, resultado de la selección natural, se diferencian radicalmente de las relaciones entre especies distintas; su objeto es conservar la especie. Las variedades, según Lisenko, no son fases de transformación en otra especie, sino formas de existencia de dicha especie. La abundancia de variedades, dice, muestra la expansión de la especie.

Aunque los casos de transformación repentina de las especies no dan lugar a dudas, es natural que, dadas las múltiples condiciones en que transcurre la vida y el desarrollo de las especies, haya multitud de tipos en estos cambios mutacionales.

[1] Algunos contradictores de Lisenko explican de otra manera el hecho de que aparezcan granos de una especie en las espigas de otra especie: lo atribuyen a la androgénesis (fecundación con el polen de una especie extraña, que va acompañada de la muerte del núcleo del gameto femenino), a la semejanza exterior convergente con otra especie, etc. (*Nota de la Redacción.*).

Por ejemplo, V. D. Timakov encontró en su laboratorio algunas formas del proceso de creación de especies entre los microbios, al cultivar el bacilo intestinal en los productos de descomposición de las bacterias de las paratifoideas y del tifus abdominal, y otras al cultivar microbios de la paratifoidea en los productos de descomposición del bacilo intestinal.

En este caso, los primeros cambios en las propiedades de los microorgamismos aparecían entre el cuarto y sexto trasplante de cultivo; del décimo al decimoséptimo, aparecían la mayor parte de los caracteres y propiedades nuevos; sin embargo, en este período no eran aún estables, siendo fácil la reversión a la forma primitiva. Los caracteres se estabilizaban luego de transcurrir un tiempo, que era distinto según el carácter específico de los cultivos de origen (e incluso de las cepas de cultivos) y también según las condiciones en que el cultivo se realizó. Por lo tanto, el proceso formativo va siempre unido a un cambio en las condiciones de existencia. Se realiza de acuerdo con las leyes generales de desarrollo, establecidas por el materialismo dialéctico. El salto que da lugar a la nueva forma puede ser repentino y gradual.

En el transcurso de los últimos años, ha tenido lugar en la U. R. S. S. una discusión sobre la especie y su formación. Se han expuesto diferentes puntos de vista, lo que en su conjunto ha contribuido, sin duda, a lograr mayor profundidad en la interpretación de algunas cuestiones relativas a la formación de las especies. La discusión ha tenido el defecto de que muchos de sus participantes han enfocado el problema de una manera unilateral, reduciéndolo a las formas de transición a nua nueva especie. Algunos incluso han defendido la idea de que la nueva especie puede surgir únicamente como resultado de un salto muy amplio; otros, en cambio, han negado la importancia de la especie. Posiciones tan extremas derivan de la falsa comprensión del sentido de la discontinuidad dialéctica y de no tener en cuenta la variedad de las transformaciones realizadas mediante mutaciones, el carácter de las cuales viene determinado por las condiciones específicas en que transcurre dicho proceso.

IMPORTANCIA DE LA TEORIA DE DARWIN

Los fundadores del marxismo-leninismo, Marx, Engels y Lenin, apreciaron en todo su valor la teoría de Darwin.

Marx, refiriéndose al *Origen de las especies,* dijo que "...este libro proporciona a nuestras concepciones una base histórico-natural".[1]

Engels incluía la teoría de Darwin entre los tres grandes descubrimientos alcanzados por las Ciencias Naturales en el siglo XIX (la ley de la conservación de la energía, la célula y la teoría de Darwin). Criticando la concepción metafísica en las Ciencias Naturales, Engels escribía: "La naturaleza es la piedra de toque de la dialéctica, y las modernas Ciencias Naturales nos brindan para esta prueba un acervo de datos extraordinariamente copioso y enriquecido con cada día que pasa, demostrando con ello que la naturaleza se mueve, en última instancia, por cauces dialécticos y no por carriles metafísicos... Aquí hay que citar en primer término a Darwin, quien

[1] C. Marx y F. Engls, *Obras,* 1929, t. XXII, pág. 551. Carta de Marx a Engels, 19 de diciembre de 1860.

con su prueba de que toda la naturaleza orgánica existente, plantas y animales, y entre ellos, como es lógico, el hombre, es producto de un proceso de desarrollo que dura millones de años, ha asestado a la concepción metafísica de la naturaleza el más rudo golpe."[1]

Las leyes que rigen el proceso evolutivo (variabilidad, herencia y selección natural), descubiertas por Darwin, fueron un *golpe* decisivo para el *idealismo,* la *religión* y la *teleología.*

Marx escribía: "... a pesar de todos sus defectos, aquí, por primera vez, no sólo se ha asestado un golpe de muerte a la "teleología" en las Ciencias Naturales, sino que empíricamente se ha puesto en claro su sentido racional..."[2]

La doctrina de Darwin sobre el desarrollo del mundo orgánico de lo simple a lo complejo ayudó a conocer la *relación entre los fenómenos y los procesos* que se realizan en la naturaleza. Esta doctrina considera la naturaleza viva como un *todo único,* en donde todo está orgánicamente relacionado. Darwin mostró la naturaleza viva en el proceso de su cambio y desarrollo continuos. Engels y posteriormente Lenin, comparaban la revolución llevada a cabo en Biología por Darwin con la que Marx realizó en las Ciencias sociales. V. I. Lenin escribía: "Lo mismo que Darwin acabó con el concepto de las especies animales y vegetales como cosas sin ninguna relación, casuales, "creadas por Dios" e invariables y fue el primero en situar a la Biología sobre una base totalmente científica, al establecer la variación de las especies y la sucesión entre ellas, Marx acabó con el concepto de la sociedad como un agregado mecánico de individuos, que admite toda clase de cambios a voluntad de los superiores..."[3]

Darwin llegó a *conclusiones generales acertadas* respecto al desarrollo de la naturaleza viva. Aportó a las ciencias biológicas un método de investigación muy fecundo, como es el *método histórico.* El planteamiento histórico de Darwin es materialista. Darwin estudia la naturaleza como algo material, que se desarrolla según leyes propias. La *variabilidad,* cuya fuente está en el medio exterior, la *herencia* y la *selección,* son las *leyes de la materia en movimiento* en una determinada etapa de desarrollo. Las leyes fundamentales de la evolución, descubiertas por Darwin, le permitieron convertir en prueba de su teoría el gran cúmulo de datos reunidos por la Paleontología, la Anatomía comparada, la Embriología, la Zoogeografía y la Fitogeografía, datos que antes esgrimían los metafísicos contra el punto de vista evolucionista.

A la luz de la teoría de Darwin, los datos que ofrece por separado cada rama de la ciencia *se controlan y se confirman unos a otros.* Por ejemplo, los datos de la Paleontología adquieren una fuerza especial y un gran valor demostrativo al encontrar la confirmación adecuada en la Embriología y en la Anatomía comparada. Las diferencias entre la flora y la fauna de distintos continentes servían antes para demostrar que su origen era debido al Creador. Darwin demostró que estas diferencias se deben única y exclusivamente a las distintas condiciones de vida. Reunió también hechos

[1] C. Marx y F. Engels. *Obras escogidas en dos tomos.* t. II. Del socialismo utópico al socialismo *científico.* 1948, pág. 122.

[2] R. Marx y F. Engels. *Cartas escogidas,* 1947; C. Marx. Carta a F. Lassalle, del 16 de enero de 1861, pág. 121.

[3] V. I. Lenin, *Obras,* 4ª edición, 1941, t. I *Quienes son "los amigos del pueblo" y cómo luchar contra los socialdemócratas,* pág. 124.

que demuestran cómo los organismos, al diseminarse, conservan en diferentes zonas geográficas los rasgos de su semejanza genética, a pesar de que, a la vez, adquieren otros nuevos, que se han desarrollado por su adaptación a las nuevas condiciones de vida. Las variaciones ayudadas por la selección dan lugar a diferencias entre formas semejantes, incluso dentro de un mismo lugar geográfico, de acuerdo con la adaptación a un modo de vida específico y determinado.

El *hecho de la gradación* de los organismos halló en la teoría de Darwin su *explicación materialista.* Darwin mostró que el proceso morfológico en el desarrollo de aquéllos es resultado de la selección natural. Sin embargo, subraya que la complicación gradual de la organización no es la única forma de evolución de los organismos. La evolución tiene lugar en algunas formas sin que aquéllas se eleven, y en ciertos casos, cuando la *simplificación* de la organización se conforma más con condiciones de existencia nuevas y modificadas, puede realizarse a través de la regresión morfológica (por ejemplo, el paso al modo de vida parasitario). La teoría de la selección natural da una respuesta completa al *problema de la existencia paralela de formas superiores e inferiores,* problema que resuelve desde el punto de vista de la adaptación de las formas de organización inferior a sus condiciones específicas de existencia, que no convienen a los organismos superiores. Por último, Darwin echó por tierra el argumento principal de los creacionistas, que se basaban en la *adecuación* estructural y funcional de los organismos, característica de todos los seres vivos. Eso es una gran aportación materialista de Darwin. Demostró que la adecuación de los organismos es una adaptación relativa de ellos a las condiciones de existencia, que no es el resultado de una supuesta armonía absoluta existente en la naturaleza, sino que surgió históricamente en el proceso de la selección natural. Darwin reunió numerosos ejemplos de órganos vestigiales, que se conservan a pesar de ser inútiles y haber perdido su significado. Estos hechos no los explica la teoría de la creación.

Por lo tanto, al acabar con los conceptos metafísicos en Biología, Darwin sentó las bases para la interpretación materialista del mundo, que determinó el desarrollo ulterior progresivo de las ciencias biológicas.

CONCLUSIONES

1. La teoría de Darwin venía preparada por toda la historia del desarrollo de la ciencia y se apoyaba en las prácticas agrícolas de Inglaterra, en el período ascendente de la sociedad capitalista.

2. La teoría darvinista del desarrollo del mundo orgánico parte de tres hechos fundamentales: variabilidad de los organismos, herencia de los cambios conseguidos y selección natural (supervivencia). El último es consecuencia de la lucha por la vida. Esta teoría da un explicación materialista a la adecuación de los organismos a la naturaleza.

3. Darwin dio una interpretación materialista a las relaciones entre el organismo y el medio; veía la base de la mutabilidad de los organismos en los cambios de las condiciones de vida.

4. Las limitaciones de la selección en tiempos de Darwin, que se basaba en la selección de cambios casuales en los animales y las plantas, útiles al hombre, impedían el descubrimiento de las causas originarias de los pri-

meros cambios. Por eso, Darwin adoptó el término de mutabilidad "indeterminada", que subraya la imposibilidad en que se hallaba la ciencia de entonces de encontrar la causa concreta de cada uno de tales cambios.

5. A esa misma razón se debe que Darwin no apreciase en su valor la influencia directa del medio exterior y exagerase el papel de la selección.

6. La Biología michurinista contemporánea descubre el sentido de las relaciones entre el organismo y el medio e indica el camino para dominar con un espíritu creador el proceso de la mutabilidad. El fundamento de la selección michurinista es la mutabilidad dirigida y la selección planificada y educativa.

7. Darwin explicó acertadamente las causas de la extinción de las especies y las condiciones que favorecen su formación; sin embargo, en contra de los datos de que disponía, exageró la importancia de la competencia dentro de una especie como factor de la evolución.

8. La interpretación materialista dialéctica del proceso de desarrollo incluye el concepto de evolución y revolución, el concepto de mutación, teniendo en cuenta la multiplicidad de formas en los cambios mutacionales.

9. La teoría de Darwin en su totalidad fue muy estimada por los clásicos del marxismo-leninismo, ya que quebrantaba el concepto metafísico de la naturaleza y sentaba una base firme para el desarrollo de la ciencia materialista.

CAPITULO XIII

LUCHA DEL MATERIALISMO Y EL IDEALISMO ALREDEDOR DE LA DOCTRINA DE DARWIN

DEFENSA DE LA TEORIA DE DARWIN POR LOS CIENTIFICOS PROGRESISTAS

La primera edición del libro de Darwin, que apareció en Inglaterra con una tirada de 1.250 ejemplares, se agotó en un día. A ella siguieron la segunda y la tercera edición.

El gran éxito del libro se explica, en primer lugar, por la falta que de una obra como ésta se sentía: en ella se daba respuesta a los problemas más candentes. Además, abundaba en ejemplos de hechos tomados de la realidad, cuidadosamente elegidos, y era de pequeño tamaño.

Es natural que los reaccionarios en el campo de la ciencia acogiesen con hostilidad la teoría de Darwin. Los ataques partían de representantes de la Iglesia, de científicos conservadores y de todos cuantos en la ciencia y en los medios de la opinión pública eran enemigos del materialismo. Los ataques cobraron más fuerza después de la aparición del *Origen del hombre y selección sexual.*

Sin embargo, la joven generación de científicos progresistas dispensó a esta doctrina una acogida muy distinta. Muchos de ellos se convirtieron en fervientes partidarios y defensores convencidos del darvinismo. Alrededor de la teoría de Darwin se desencadenó una gran lucha.

El papel más importante en la defensa del darvinismo correspondió al gran naturalista *Thomas Huxley* (1825-1895), conocido por sus trabajos de Zoología, Anatomía comparada y Paleontología.

Entre los adversarios de Huxley estaba Richard Owen, afiliado a la escuela de la filosofía de la naturaleza y el anatomista y paleontólogo más famoso de entonces. Owen realizó importantes descubrimientos, que demostraban la unidad de origen del mundo orgánico. Uno de ellos es el del *Archaeopteryx,* la primera ave conocida, perteneciente al Jurásico y que permite establecer las relaciones de afinidad entre los reptiles y las aves.

Owen, lo mismo que otros muchos críticos de Darwin, no negaba la transformación de las especies en general; se oponía al principio darvinista de la evolución, al papel creador de la selección. Estos críticos reconocían la mutabilidad de los seres vivos, pero la atribuían a una supuesta tendencia interna de perfeccionamiento de que, desde un principio, están dotados los organismos. Owen criticaba a Darwin desde *posiciones idealistas.* Defendía la idea de que entre la organización del hombre y los animales existen diferencias anatómicas de principio, e intentó señalar en la estructura del cerebro humano diferencias que permitiesen incluir al hombre en una subclase especial.

Huxley demostró que los rasgos a que se refería Owen no son exclusivos del hombre y que también los poseen los monos superiores. Expuso las verdaderas diferencias entre el cerebro humano y el de los monos antropomorfos (volumen relativamente mayor, asimetría de los hemisferios y mayor número de circunvoluciones). Estas diferencias son completamente insuficientes para incluir al hombre en una subclase especial. Huxley publicó una serie de artículos polémicos en los que analizaba brillantemente los argumentos de los enemigos de la teoría de Darwin y demostraba su inconsistencia. Reforzó la teoría darvinista con sus investigaciones sobre cráneos del hombre actual y de sus formas fósiles (hombre de Neanderthal). Fue, sin duda, uno de los darvinistas más consecuentes, mas no pudo superar la estrechez de la ideología de su clase y declararse materialista. A su concepción del mundo le dio el nombre de agnosticismo[1]. Ahora bien, como Lenin escribía, el agnosticismo de Huxley es la hoja de parra del materialismo, y los furiosos ataques de que es objeto Huxley por parte de los idealistas los explica precisamente el hecho de que bajo su agnosticismo se encubre en realidad el materialismo.

Thomas Huxley.

En Inglaterra, a la defensa del darvinismo se incorporó el botánico *Joseph Hooker* (1817-1911). Todos sus trabajos revelan una gran influencia de las ideas de Darwin, en favor de las cuales expuso nuevas demostraciones, relativas a la distribución geográfica de las plantas, basadas en sus trabajos sobre la flora de Nueva Zelanda, Tasmania, Australia y la Antártida.

Darwin tuvo el constante apoyo de *Charles Lyell*, que tenía un elevado concepto de sus obras. El vigor demostrativo de Darwin es tal, decía, que a poco que se ceda se ve uno obligado a aceptar su doctrina por completo. Sin embargo, Lyell no se adhirió de primera intención a la teoría de Darwin, ya que lógicamente había que extenderla y aplicarla al hombre, cosa a la que él no se decidía.

Alfred Wallace (1823-1913) también participó activamente en la defensa del darvinismo. Como hemos dicho anteriormente, Wallace llegó a la idea de la evolución independientemente de Darwin.

Sin embargo, su modo de abordar el problema de la evolución fue diferente del de Darwin. Este trata ampliamente del problema de la lucha por la existencia, teniendo en cuenta las diferentes formas de relaciones que se presentan en la naturaleza y que conducen a la selección natural. Wallace parte únicamente de la superpoblación.

[1] Agnosticismo, del griego *agnosios*, incognoscible.

Las opiniones de Wallace y Darwin divergen en una serie de importantes aspectos.

Wallace *niega categoricamente la transmisión hereditaria de los caracteres alquiridos.* Reconoce como único factor de la evolución la selección natural. Con ello dio comienzo en la Biología a una corriente reaccionaria, que desarrolló después August Weismann y recibió el nombre de *neodarvinismo* (acerca de lo cual se hablará más adelante).

Ernst Haeckel.

Wallace no compartía la doctrina de Darwin *acerca del origen animal del hombre.* En esta cuestión se deja arrastrar por el idealismo y el misticismo.

Una valiosa aportación a la teoría de la evolución son los trabajos de Wallace sobre la distribución geográfica de los animales y también sus estudios relativos al mimetismo.

Wallace critica la teoría de la selección natural de Darwin. En contraposición, propone su *teoría de los nidos de aves,* según la cual el dimorfismo sexual no se desarrolló en las aves por la preferencia que las hembras manifiestan hacia los machos de coloración más viva; al contrario, la coloración apagada de las hembras, que pasan inadvertidas, constituye una defensa desarrollada por la selección natural, para los casos en que los nidos se construyen al aire libre.

En realidad, esta teoría no excluye en absoluto la selección natural, ya que el proceso de formación de la coloración protectora de las hembras puede ser paralelo a la selección de la tonalidad más llamativa en los machos.

En Francia, la teoría de Darwin fue acogida con frialdad, la prensa no le dedicó casi ningún comentario.

Uno de los más destacados enemigos del darvinismo en dicho país fue el secretario de la Academia de Ciencias y conocido fisiólogo Flowens. Su intervención encontró cumplida respuesta en Huxley.

En Alemania hubo numerosos científicos importantes partidarios y continuadores del darvinismo. Entre ellos le pertenece, sin duda, el primer lugar a *Ernst Haeckel* (1834-1919).

Haeckel *divulgó* ampliamente *el darvinismo* en conferencias públicas, en artículos y con sus intervenciones en congresos de naturalistas y médicos. Logró ganarse a los hombres progresivos de la ciencia y de los medios sociales de Alemania.

La creencia de que las especies eran invariables quedó quebrantada, y la idea evolutiva, reconocida. Sin embargo, parte de los científicos, a pesar de admitir la idea evolutiva en general, consideraban la teoría de Darwin como una hipótesis que exigía aún una larga comprobación.

Haeckel *pedía la enseñanza del darvinismo en las escuelas,* a lo cual se opuso decididamente Virchow.

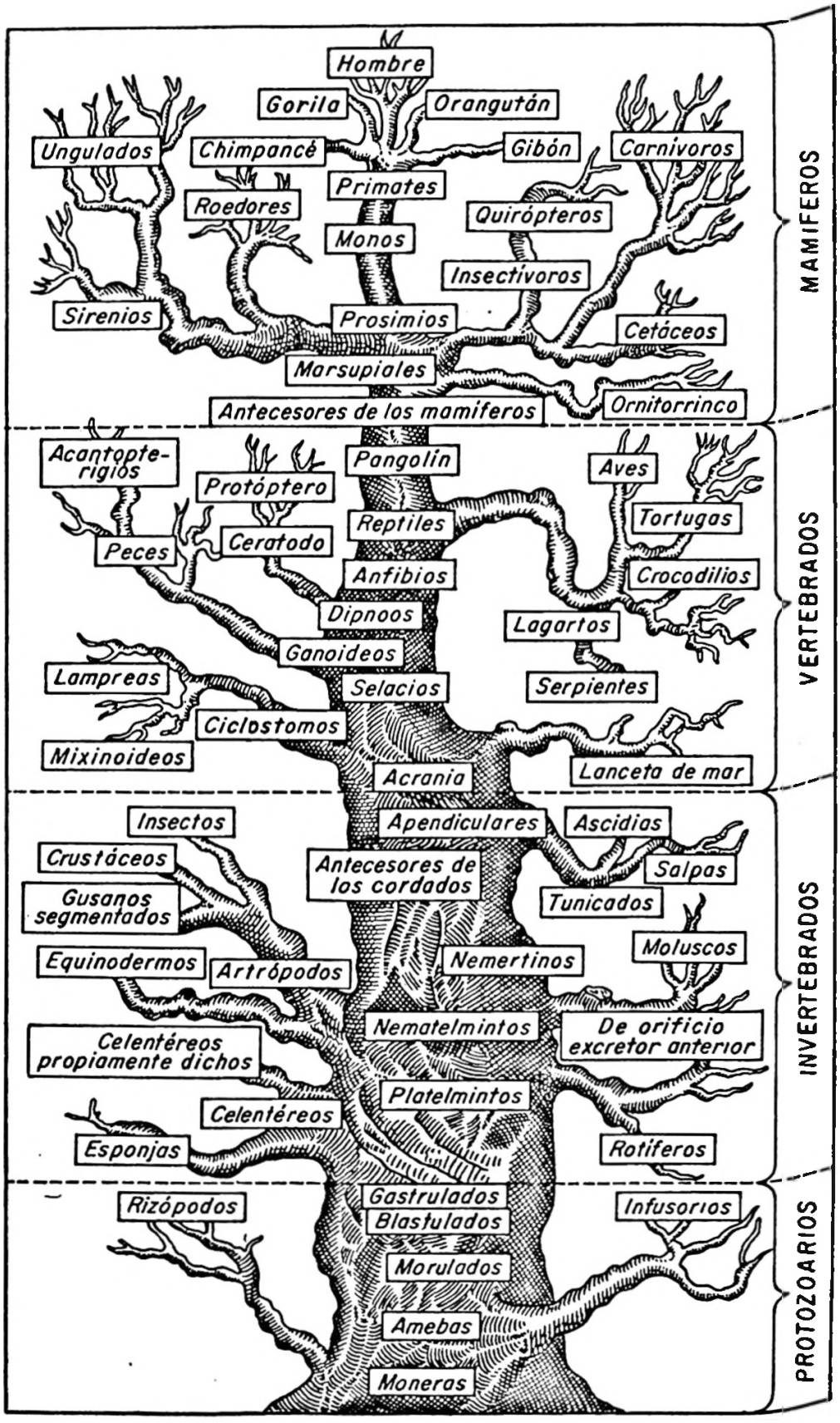


FIG. 334. Arbol sistemático genealógico, según E. Haeckel.

Virchow afirmaba que el darvinismo no constituía todavía una verdad científica, que se trataba únicamente de una hipótesis, que debía conocer tan sólo un círculo reducido de personas. Además, añadía, la doctrina de Darwin contiene *tendencias socialistas* y su amplia propaganda puede representar, si llegan a asimilarla los socialistas, un serio peligro para el orden estatal existente y para la Iglesia. Virchow tuvo el apoyo de la prensa clerical. Sin embargo, Haeckel, que negaba la afirmación de Virchow acerca de las tendencias socialistas del darvinismo, adoptó en este asunto una posición reaccionaria. Consideraba que el darvinismo era portador de tendencias aristocráticas. Esta afirmación de Haeckel sirvió de punto de partida *para la corriente seudocientífica* conocida con el nombre de *darvinismo social*. El darvinismo social trataba de justificar la desigualdad existente en el mundo capitalista invocando las "leyes naturales" que rigen en la naturaleza. La nueva corriente hizo suya la tesis de Darwin sobre la com-

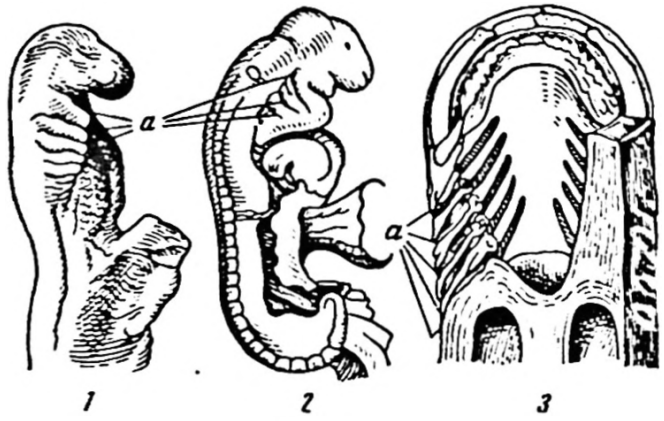


FIG. 335. Embriones de una raya (1) y del hombre (2), en fases correspondientes; (3) cavidad bucal de un escualo adulto: *a*, aberturas branquiales.

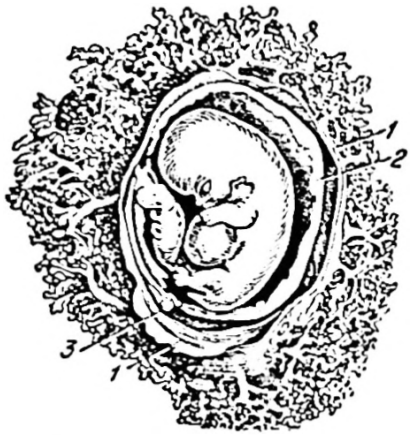


FIG. 336. Embrión humano de siete semanas, con las capas embrionarias: 1, corión; 2, amnios; 3, saco vitelino.

petencia en el seno de las especies, que derivaba de su falta de espíritu crítico frente al maltusianismo. Según este concepto, los individuos mejor adaptados del género humano (es decir, los capitalistas) sobreviven, y las grandes masas de trabajadores, derrotadas en la lucha por la vida, están condenadas a la miseria y la extinción.

El darvinismo social, que sostenía la tesis metafísica del carácter eterno de las relaciones capitalistas, constituyó en el futuro el punto de partida de las antihumanas teorías racistas.

V. I. Lenin señala la inconsecuencia del materialismo de Haeckel en la Historia Natural y sus escandalosos absurdos en la esfera política. No obstante, Lenin tiene en gran estima a Haeckel como divulgador y propagandista del darvinismo.

Haeckel desarrolló con espíritu creador una serie de puntos de la doctrina de Darwin. Le pertenecen algunas amplias monografías sobre los radiolarios, las esponjas, las medusas y los sifonóforos. Siguiendo a Goriáninov, *considera que lo principal en la Taxonomía es aclarar las relaciones evolutivas de parentesco* entre los diferentes grupos de organismos, idea que él plasma en sus monografías.

Haeckel construye su árbol genealógico basándose en numerosos materiales y recurriendo al método de investigación *triple*, según el cual los datos de la Anatomía comparada se controlan mediante los que ofrecen la Paleontología y la Embriología.

Haeckel aspiraba a explicar, mediante investigaciones filogenéticas, el origen de la vida en la Tierra y las etapas primitivas de la filogénesis de los seres vivos.

Haeckel consideraba que todos los organismos actuales deben su origen a una prolongada evolución a partir de una forma que surgió en los comienzos de nuestro planeta. Esta forma inicial era una acumulación de protoplasma homogéneo sin núcleo, a la que dio el nombre de *mónera*. Las células restantes aparecieron, según él, mediante la diferenciación de las móneras. "Descubrió" y describió una serie de éstas que luego resultaron células corrientes con uno e incluso varios núcleos.

La división de los organismos en reino animal y vegetal no satisfacía a Haeckel, que incluyó también el reino de los protistos. Haeckel intentó presentar la marcha del desarrollo evolutivo de los organismos, desde las formas anteriores a la célula hasta los organismos superiores (fig. 334). Las fases del desarrollo filogenético de los organismos las dedujo de las fases de su ontogénesis. Basándose en el cúmulo de datos recogidos por los científicos rusos A. O. Kovalevski y I. I. Méchnikov (véase más arriba), Haeckel desarrolló la tesis de Darwin de que el embrión representa una copia más o menos velada del antecesor general de cada gran grupo de animales. Formuló así la ley biogenética según la cual la *ontogénesis es una repetición resumida de la filogénesis*. Sin embargo, Haeckel se vio obligado a admitir que en las etapas correspondientes del desarrollo embrionario la repetición hereditaria completamente igual a la serie inicial de formas principales se observa tan sólo en contados casos, o hablando con precisión, nunca.

Haeckel distingue en el proceso de desarrollo embrionario dos grupos de caracteres. Al primero lo denomina *caracteres palingenéticos*, es decir, que repiten los rasgos de desarrollo de los antepasados, por ejemplo: la constitución del embrión por dos capas, los rudimentos del notocordio, los arcos branquiales, los riñones primarios, las cinco vesículas cerebrales, etc. Estos caracteres (fig. 335) nos dan una idea de los caminos seguidos por la filogenia. El segundo grupo de caracteres, los *caracteres cenogenéticos*, son una infracción de la palingénesis y representan los dispositivos del embrión para adaptarse a las condiciones de desarrollo. Son la yema nutritiva, las capas embrionarias y diferentes géneros de formaciones protectoras. Aparecen en el estado embrionario o larvario y desaparecen al finalizar este período. Estos caracteres demuestran que la repetición de la filogenia sufre a lo largo de los siglos modificaciones y reducciones (fig. 336).

Dentro de los cambios cenogenéticos, Haeckel distingue también la *heterotopia*, o cambios de lugar en la posición de los órganos (por ejemplo, en comparación con los peces, el corazón y las extremidades anteriores de los vertebrados superiores se han apartado del cráneo hacia atrás, dando lugar al cuello) y la *heterocronia*, que son los cambios respecto al tiempo en que se originan y desarrollan los órganos (por ejemplo, si comparamos los vertebrados superiores con los inferiores, veremos que en los primeros el cerebro, los ojos y el corazón se forman antes; por el contrario, en los

inferiores aparecen con anterioridad las glándulas sexuales y el intestino). Haeckel señala también una infracción de la ley biogenética, como es el caso de un órgano que *en la filogenia se desarrolló a partir de una hoja embrionaria y en la ontogenia de los descendientes lo hace a partir de otra* (por ejemplo, las glándulas sexuales, que proceden filogenéticamente del ectodermo o del endodermo, se originan en la ontogenia de las formas superiores a partir del mesodermo).

En la cuestión de las relaciones del organismo con el medio ambiente, Haeckel fue más consecuente que Darwin. Pone con toda la razón *en primer lugar la influencia directa de las condiciones de vida y una determinada variabilidad.* A este respecto enuncia la *ley de la adaptabilidad acumulada,* según la cual los organismos varían en gran escala de una manera estable si los cambios en las condiciones de vida actúan durante largo tiempo, aun cuando esos cambios sean insignificantes. Dichos cambios suelen guardar relación con los cambios de clima, alimentación, etc.

En América del Norte, un propagandista de las ideas de Darwin fue el conocido botánico *Asa Grey,* y el mayor enemigo, Louis Agassiz, que le criticó desde posiciones creacionistas. En su defensa del darvinismo frente a los ataques de los clericales, Asa Grey trató por todos los medios de demostrar que dicha teoría era compatible con la religión. Asa Grey enriqueció la teoría de Darwin con una serie de pruebas e ilustraciones.

En América del Sur, el darvinismo encontró a su representante en la persona de *Fritz Müller* (1821-1897). Müller desarrolló el darvinismo, aplicándolo en lo fundamental a la Zoología y la Embriología de los invertebrados. Paralelamente a Haeckel, estudió las relaciones de las fases de desarrollo ontogénico de los animales con su filogenia; por eso, la ley biogenética lleva el nombre de *ley de Müller-Haeckel.*

Ya en 1864, los partidarios de la teoría de Darwin lograron para su autor la más alta recompensa que podía alcanzar en Inglaterra un hombre de ciencia, el Premio Copley.

La concesión a Darwin del Premio Copley es la mejor muestra del viraje realizado dentro de la opinión pública de Inglaterra y otros países en favor de su teoría.

CRISIS EN LA BIOLOGIA A FINES DEL SIGLO XIX Y COMIENZOS DEL XX

Premisas sociales de la crisis en las ciencias biológicas

A fines del siglo XIX y comienzos del XX, el capitalismo no era ya el de los tiempos de Darwin; había entrado en la fase del imperialismo, la del capitalismo en descomposición. Las contradicciones internas se agudizaron; las crisis sacudían cada vez con más frecuencia al mundo. La nueva fuerza nacida en el seno de la sociedad capitalista, los millones de proletarios, iban ganando en organización y conciencia, convirtiéndose en una amenaza real para la existencia misma del régimen capitalista.

La religión, la filosofía y la ciencia se movilizaron para la lucha ideológica contra la conciencia cada vez mayor de las grandes masas trabajadoras. La inestabilidad de la situación, la desconfianza en el mañana, la falta de perspectivas para el futuro, crean en la burguesía el deseo de una estabilización.

Todos los métodos ideológicos heredados del feudalismo son puestos en juego por la burguesía para frenar el desarrollo de la historia, que conduce al régimen capitalista a una irremediable quiebra. En la filosofía domina en este período el idealismo, que se convierte en misticismo. Las ciencias naturales se apartan del darvinismo y del método histórico de investigación, y vuelven a la metafísica. La doctrina de Darwin, de base profundamente materialista, que afirma la idea del desarrollo, se encuentra en franca contradicción con el espíritu de la época; la sociedad burguesa ve en ella un peligro. Por eso, la lucha de los servidores de la burguesía contra el meollo materialista de la doctrina de Darwin se convierte en el problema actual de este período.

La doctrina de Darwin sobre el papel creador de la selección se tacha de teoría "envejecida", que no corresponde a los conocimientos de la época. Intentan sustituirla por cualquier otro concepto que afirme la idea de la constancia de las relaciones en la naturaleza. Aparecen diversas teorías *neodarvinistas* y *neolamarckistas*, que eliminan el contenido materialista de las doctrinas de Darwin y Lamarck. Se aferran a todo lo que en las manifestaciones de estos investigadores puede interpretarse en sentido reaccionario, y eso es precisamente lo que desarrollan. Allanan el camino a la teología y exhuman el dogma, enterrado por Darwin, de la inmutabilidad de las especies.

Intentos de rebatir el darvinismo basándose en las teorías autogenéticas de la herencia.

Los problemas de la herencia y sus variaciones, de las relaciones entre el organismo y el medio que habitan, eran la parte menos lograda de la doctrina de Darwin; se comprende, pues, que los biólogos idealistas intentaran adueñarse precisamente de ella para luchar contra el darvinismo. El weismanismo o neodarvinismo (como ya hemos señalado) tiene su comienzo en Wallace y es desarrollado por Augusto Weismann (1892).

El weismanismo es un reflejo de la reacción en las ciencias biológicas. La teoría de Weismann va dirigida contra el contenido materialista de la doctrina de Darwin, contra el papel modificador de la selección. Esta corriente intenta debilitar las bases de la doctrina de Darwin, la tesis relativa a la herencia de los caracteres y las propiedades adquiridas por los organismos en el transcurso de su vida. Sin la sucesión de la variabilidad en la serie consecutiva de generaciones, la selección pierde su valor formativó; su papel se reduce únicamente a la mera aceptación de formas creadas, que surgen independientmnte de las condiciones del medio.

De acuerdo con su tesis de las variaciones adquiridas que no se heredan, Weismann expuso la reaccionaria teoría del plasma embrionario. Esta teoría se apoyaba en el hecho de que la división de los individuos no trae consigo la muerte de los organismos unicelulares, los cuales continúan viviendo en las generaciones sucesivas. Weismann llegaba así a la conclusión de que los seres unicelulares no tienen una muerte natural (ya que no hay cadáveres), es decir, que potencialmente son inmortales.

La muerte, según Weismann, surgió en el proceso de la evolución, al pasar de las formas unicelulares a las pluricelulares, como resultado de la diferenciación de las células. La base de esta diferenciación la constituye la división de las células en *germinales* y *somáticas*.

Las células germinales (sexuales) originan nuevos seres y conservan en potencia su inmortalidad, son las portadoras de la herencia y contienen la "sustancia hereditaria", que Weismann relaciona con los cromosomas del núcleo celular. Los cromosomas son eternos e invariables; su única función es la de reproducirse.

Las células somáticas (células del cuerpo) son mortales; protegen y nutren a las células germinales. Entran en relación con el medio exterior y se modifican de acuerdo con el cambio de las condiciones de vida, pero ello no se refleja adecuadamente en las células sexuales y no se transmite a los descendientes. Las células sexuales inmortales se conservan invariables hasta el infinito y para ellas el cuerpo es, por lo tanto, un albergue temporal.

Weismann trató de fundamentar su tesis sobre la autonomía de las células germinales mediante un experimento llevado a cabo con ratones, a los cuales cortó el rabo durante veintidós generaciones. El hecho de que estas burdas mutilaciones mecánicas no se heredaran le sirvió para hacer conclusiones trascendentales *sobre la total independencia entre la variabilidad hereditaria y la influencia del medio exterior.*

Para Weismann la causa única de la aparición de variaciones hereditarias es el *desplazamiento durante el proceso de la fecundación de dos plasmas germinales, el materno y el paterno.* De aquí se desprende que la *selección natural no constituye el principio creador,* sino que se limita a conservar las combinaciones útiles de caracteres adquiridos por la conjugación de dos herencias, destruyendo los perjudiciales. Por lo tanto, según Weismann, lo nuevo es simplemente una nueva combinación de las propiedades que existen eternamente y que se hallan en las diferentes células embrionarias.

Después, bajo el peso de la crítica, Weismann hubo de reconocer la influencia del medio exterior en el plasma germinal, aunque sólo admitía las influencias que actúan directamente sobre las células sexuales (blastógenas), mientras que las influencias que se ejercen a través del cuerpo (soma) no producen, según Weismann, modificación alguna en el plasma embrionario.

Aunque Weismann admitió la influencia en los blastógenos del medio exterior, negó categóricamente que las variaciones del plasma germinal correspondiesen a los cambios del medio exterior.

Afirmó el carácter casual de las variaciones surgidas y negó de hecho la variabilidad como resultado de la acción del medio: la variabilidad, según él, es un proceso autónomo.

Weismann ve el factor formativo en la *selección mecánica de variaciones casuales ventajosas.* Si las variaciones surgidas son casuales, independientes de las condiciones externas y se conservan únicamente mediante la selección, cualquier influencia del medio exterior deberá destruir los cambios que, con el fin de adaptarse, acumula la filogenia. Y como, según demuestra la herencia, los resultados de la filogenia se conservan, Weismann insiste en la autonomía del plasma germinal, en su reproducción vegetativa simple. Tal es la lógica en la concepción mecánica de la acción de la selección. Conduce irremisiblemente al idealismo, ya que, de acuerdo con ella, no es posible explicar de una forma materialista las causas de la aparición de cambios adaptables, es decir, que correspondan al medio.

Weismann cierra los ojos en su teoría al verdadero contenido del proceso vital. La propiedad fundamental del proceso vital es el metabolismo,

la creación y la destrucción. El cuerpo vivo se renueva sin cesar. La vida encierra en sí el elemento de la muerte, de la destrucción.

La continuidad de la vida es un hecho indudable, pero las células hijas no son las mismas de la célula madre. Las células del mismo organismo mueren y son sustituidas por otras. Las células sexuales son el producto del organismo vivo; se desarrollan en el proceso de metabolismo.

Criticando el weismanismo, T. D. Lisenko escribe: "La sustancia hereditaria inmortal, independiente de los rasgos específicos cualitativos del desarrollo del organismo vivo, que regula el cuerpo mortal, pero que no ha sido creada por él, es la concepción de Weismann abiertamente idealista, mística en su esencia, que él expone bajo una cortina de palabras sobre el *neodarvinismo*.[1]"

La teoría de Weismann y otras semejantes, que separan los fenómenos de la variabilidad de los organismos de las condiciones del medio exterior, han sido denominadas teorías de la *autogénesis*.

La tesis de que los caracteres adquiridos no se heredan, la separación entre el organismo y el medio ambiente, en enfoque antihistórico de los fenómenos de la herencia y su variabilidad, son los rasgos más característicos de las teorías de la herencia del período a que nos referimos.

El seleccionador danés Wilhelm Johannsen se valió de sus experimentos con habas para fundamentar la idea de la no herencia de los rasgos adquiridos (1903). Introduce el concepto de "línea pura" para denominar a los descendientes de las plantas que se autopolinizan. Sin salir de los descendientes de semejantes "líneas puras", Johannsen seleccionó durante seis años las semillas de mayor y menor tamaño y las sembró. Al no observar diferencias notables en el tamaño de las semillas de los descendientes obtenidos de las semillas grandes y pequeñas, llegó a la conclusión de que la selección dentro de las "líneas puras" no conduce a nada, ya que todos los ejemplares de semejante "línea pura" poseen las mismas propiedades hereditarias. Las variaciones individuales que se observan dentro de la "línea pura" no se transmiten por herencia. Según Johannsen, la selección puede ejercer su influencia solamente si el seleccionador opera con mezclas de ejemplares diferentes en lo que respecta a su carácter hereditario; es decir, con una población. Pero en el último caso, la selección desempeña únicamente el papel de principio clasificador, de un tamiz, que permite separar las formas hereditariamente distintas que existan en dicha población. De este modo, llega Johannsen a negar la sucesión de la variabilidad de los organismos y el papel creador de la selección.

Johannsen hace una separación metafísica entre la naturaleza hereditaria del organismo y su cuerpo y la influencia del medio exterior. Los cambios debidos a la influencia del medio los considera no hereditarios. Ahora bien, los datos que maneja Johannsen no le autorizan a semejante deducción, y el propio autor se ve obligado a reconocer que en algunas líneas se observa la acción de la selección, aunque débil.

Hay que subrayar también que el método experimental de Johannsen era falso, por lo que su trabajo no puede convencer a nadie. El error del método consiste en que la selección se realizó a partir de la cosecha mezclada de todas las plantas de cada una de las variantes del experimento.

[1] Informe del académico T. D. Lisenko *Sobre la situación en las ciencias biológicas*. Actas taquigráficas de la Sesión de la Academia Lenin de Ciencias Agronómicas de la URSS, celebrada del 31 de junio al 7 de agosto de 1948, Moscú, 1948, pág. 12.

sin tener en cuenta los caracteres específicos de cada una de las plantas que dieron semillas. La diferencia de tamaño de semillas aisladas no significa que haya diferencias en la naturaleza hereditaria de las plantas, ya que en una misma planta hay semillas de diferente tamaño. Las semillas de gran tamaño elegidas por Johannsen pudieron muy bien proceder de plantas que dieron por término medio frutos pequeños y, al contrario, las semillas pequeñas pudieron ser obtenidas de plantas que dieran frutos grandes. Eso nivelaba el efecto de la selección y permitía llegar a una conclusión que se contradecía no sólo con los principios fundamentales del darvinismo, sino también con todas las prácticas agrícolas.

Basándose en sus experimentos, Johannsen declara caduca la teoría de Darwin y llama abiertamente a quienes piensen como él a combatir la teoría evolucionista, ya que no corresponde al espíritu de la época.

Las búsquedas de una teoría más "moderna" de la herencia que correspondiese a lo que los círculos dominantes necesitaban, es decir, extraña a la evolución, culminaron en 1900, cuando de los archivos de la ciencia fueron desenterradas las "leyes de la herencia" de Gregor Mendel. Sus observaciones, que eran un caso particular de cómo se manifestaba la herencia (véase pág. 159), pasaron inadvertidas en su tiempo (1866) y se olvidaron rápidamente.

Mendel, partiendo de sus experimentos de hibridación del guisante, propuso, para explicar los fenómenos de dominancia y segregación de los caracteres en los descendientes, la denominada hipótesis de la "pureza de los gametos". Cada célula sexual (gameto) es portadora de uno solo de cada par de caracteres de los progenitores, y completamente libre, "limpia", de otros. Todo lo que parece nuevo en los descendientes es únicamente una combinación más o menos compleja, un resultado temporal de la combinación casual de "gametos puros". En las generaciones sucesivas, a causa de la "ley" de la segregación, todo debe volver a las formas primitivas. Por tanto, según Mendel, las variaciones que se suceden en el mundo orgánico tienen lugar *en un círculo cerrado,* todo vuelve indefectiblemente a lo viejo. La hipótesis de los "gametos puros" de Mendel niega toda evolución. Tal es la esencia reaccionaria del mendelismo. Las leyes de Mendel han sido objeto de una profunda crítica por parte de los representantes avanzados de la ciencia rusa, K. A. Timiriázev, I. V. Michurin, T. D. Lisenko, etcétera.

Acerca de la gran propagación del mendelismo, escribía Timiriázev: "Evidentemente, el origen de este fenómeno anticientífico hay que buscarlo en causas de carácter no científico. La fuente de esta epidemia, ante la cual el futuro historiador de la ciencia se detendrá perplejo, hay que buscarla en otro fenómeno, que se desarrolla no sólo paralelamente, sino, sin duda alguna, en relación con ella. Este fenómeno es el incremento de la reacción clerical contra el darvinismo."[1]

La misma tendencia, el retorno a la interpretación metafísica de la naturaleza, es propia del continuador de Mendel, Lotsy, quien afirma la completa estabilidad de la "sustancia hereditaria" y considera las especies como *categorías constantes e invariables.* Compara las unidades de la heherencia (*genes*) con los elementos químicos, y las especies, con las combinaciones químicas permanentes. Según Lotsy, la nueva especie puede ser

[1] K. A. Timiriázev, *El darvinismo y la selección. Artículos escogidos.* Moscú-Leningrado, 1937, pág. 85.

únicamente resultado de la hibridación, cuando las células sexuales de una forma se unen a las células sexuales de otra. Sólo en tales condiciones puede aparecer una forma nueva tan estable y permanente como las que la originaron. Las especies pueden reproducirse hasta el infinito sin perder la constancia de sus caracteres.

Otro continuador de Mendel, el biólogo inglés William Bateson (1914), en sus deseos de rebatir el darvinismo llegó a interpretar la evolución como un proceso de *degradación de la vida,* como el paso en el desarrollo filogenético del potencial de la herencia, que al principio era complicado, a otro más simple.

Según Bateson, todos los caracteres y propiedades que caracterizan a los representantes actuales del reino animal y vegetal existían en forma latente en las formas primitivas, exteriormente simples. Aparte de los "factores" que constituían la base de los caracteres específicos de las formas actuales, el genotipo de sus antecesores primitivos contenía un sinfín de otros "factores", que frenaban la manifestación de estas propiedades. Al decir de Bateson, *la evolución va acompañada de la pérdida gradual de los "factores moderadores"* y la manifestación de los rasgos correspondientes, es decir, que en el proceso de la evolución no ha aparecido nada nuevo; se ha producido, por el contrario, una disminución del número de genes a causa de la pérdida de los factores moderadores.

Timiriázev escribía en su crítica de Bateson: "Es decir, que según los evolucionistas contemporáneos, cualquier infusorio poseía desde el día de la creación incontables miríadas de "cosas" tan innecesarias como el ondulado de apéndices inexistentes y la falta de punta de dientes inexistentes, y solamente después de perder por el camino algunas de estas cosas innecesarias y de mezclar otras surgieron del primer infusorio las nuevas formas de animales. Sin embargo, si es difícil comprender el contenido de esta nueva teoría "evolutiva" (?)..., en cambio, su propósito está claro"[1]. No podía ser más patente, correspondía al espíritu de la época; tratábase de negar la aparición de lo nuevo, de volver al concepto del carácter invariable de las cosas.

La teoría de Korzhinski-De Vries, que hemos analizado anteriormente (véase pág. 494), recibió el nombre de *teoría de las mutaciones;* también trataba de conciliar la evolución con la constancia de las especies. Según esta teoría, en los comienzos de la vida, los períodos de mutación aparecían con mayor frecuencia, es decir, que el proceso evolutivo sigue una curva descendente.

El biólogo americano Thomas Morgan trató de dar una base citológica a las "leyes" mendelianas de la herencia, a cuyo efecto desarrolló la teoría *cromosómica de la herencia,* imaginada por Weismann. Morgan y sus discípulos realizaron sus investigaciones sobre la mosca *Drosophila.* Según el concepto de Morgan, los factores hereditarios o "genes", que condicionan el desarrollo de unos u otros caracteres, son partículas *localizadas en los cromosomas del núcleo celular,* de tal modo que cada gene ocupa un lugar perfectamente determinado. Los cromosomas contienen series de genes, situados en línea. Según Morgan, los genes que se hallan en un cromosoma pasan juntos al mismo gameto y se transmiten de padres a hijos; de acuerdo con ello, algunos caracteres se transmiten siempre ligados a otros. A esto le

[1] K. A. Timiriázev, *Obras,* 1939, t. VII, pág. 505.

llamó Morgan la "ley del encadenamiento" o de los "caracteres ligados" (linkage).

Sin embargo, la práctica ha demostrado que los rasgos que se transmiten juntos, a consecuencia de lo cual son considerados como dependientes de los genes que se encuentran en un cromosoma, pueden manifestar en otros cruzamientos una separación, es decir, que no se produce ligamiento. Para salvar esta dificultad, Morgan enunció una nueva hipótesis. Afirmaba que en la conjugación de los cromosomas pueden originar entrecruzamientos (*croossing over*), fragmentarse e intercambiarse partes homólogas, cambio que puede tener lugar al mismo tiempo en varios puntos. La frecuencia de aparición de individuos que no cumplen la "ley de encadenamiento" es en Morgan el criterio para determinar la distribución de los genes y los cromosomas y levantar, basándose en ello, los mapas de éstos. Cada vez que las cifras reales de desarrollo de los caracteres en los descendientes no corresponden a las teóricas, se introducen diversas clases de correcciones por los entrecruzamientos dobles, triples, etc., por los fenómenos de interferencia, es decir, por la dificultad del entrecruzamiento en diferentes sectores de cromosomas a causa de su elasticidad, etc. Por tanto, cualquier relación entre individuos de caracteres separados o no separados encuentra explicación en la teoría de Morgan (con unas u otras correcciones).

Por su contenido, el morganismo es idealista y metafísico. La teoría morganista infunde nueva vida al preformismo. Esta concepción encuentra su más claro reflejo en Meller, quien escribía que los óvulos de toda la humanidad caben en un pequeño cántaro y los espermatozoides en un guisante. En este guisante, lo mismo que en el cántaro con los óvulos, estarían contenidos los caracteres y propiedades de todas las futuras generaciones. Cada individuo estaría allí totalmente representado con todos sus caracteres específicos individuales, con su nariz especial, su hígado, sus células cerebrales completamente determinadas, la forma de sus pestañas, las huellas dactilares, etc.

Los genes son eternos, prácticamente invariables y no están sometidos al metabolismo. La mutación de los genes es, según Morgan, un fenómeno extraordinariamente raro, relacionado con la reestructuración interna, que aparece bajo la acción de causas internas indeterminadas. Las variaciones hereditarias no corresponden a los cambios del medio exterior. Entre las distintas mutaciones no hay sucesión. Los morganistas llaman *modificaciones* a las variaciones de adaptación originadas por el medio exterior, y consideran que no se heredan. Por ello Morgan opina que la selección darvinista carece de sentido y propone el total abandono de este concepto.

Por tanto, el morganismo, igual que todas las teorías autogenéticas de la herencia, representa una *vuelta a la teoría de las formas invariables, creadas desde un principio.*

Teorías que deforman la doctrina de Lamarck.

Con el pretexto de ampliar la doctrina de Lamarck, estas teorías tratan de castrar su contenido materialista. Aferrándose a expresiones y metáforas poco acertadas de Lamarck, desfiguran su doctrina, la interpretan de modo metafísico y presentan a un Lamarck idealista.

Las adulteraciones de la doctrina de Lamarck van en dos direcciones, que han sido denominadas psicolamarckismo y mecanolamarckismo.

Psicolamarckismo. Los psicolamarckistas intentan demostrar que la doctrina de Lamarck está basada en un *factor psíquico.* El "alma" forma el cuerpo. La variabilidad de los organismos se vincula a cierto deseo que, de una manera difusa, existe incluso en las formas más simples de vida. El alemán Francé, portavoz de esta corriente, afirma que existe todo un sistema de "almas": el alma celular, la corporal, la cerebral. El alma rige el proceso evolutivo, correspondiendo el papel principal al alma cerebral.

Otro defensor de esta corriente es el paleontólogo americano Edward Cope. El "alma" o "deseo" de Francé lo sustituye Cope (1871) por una energía vital específica, a la que denomina fuerza de crecimiento o "batmismo". Esta energía en inmaterial y no se transforma en otras clases de energía. Es la causa de la acomodación al fin. Las influencias bátmicas penetran en las células sexuales y se fijan en ellas, haciéndose hereditarias. La capacidad de las células sexuales para fijar las influencias bátmicas se atribuye a la supuesta memoria inherente a las células sexuales.

El psicolamarckismo es una "teoría idealista, que arrastra la ciencia hacia el misticismo y el clericalismo.

Mecanolamarckismo. Los mecanolamarckistas, lo mismo que los neodarvinistas, niegan la esencia de la doctrina de Darwin, el papel creador de la selección natural. Consideran que el único factor formativo es el *medio exterior.* El medio, según estas opiniones, crea la acomodación al fin y la especialidad de las formas, independientemente de la actividad de la selección natural, de que varíen las necesidades de los organismos y cambien las funciones de los órganos y, por lo tanto, su forma. En lugar de la selección natural, un defensor de esta corriente, Gayet, propone la selección "física". Según Gayet, los factores del medio influyen directamente y crean la armonía y la adaptación de las formas a las condiciones de existencia. A los organismos los representa como cuerpos plásticos muertos, que el medio hace variar mecánicamente; la evolución es para él un proceso de formación mecánica de los organismos. Los mecanolamarckistas no son capaces de explicar la extraordinaria adaptación de los organismos y la armonía en la naturaleza.

Ortogénesis. El suizo Theodor Eimer es autor de otra "teoría", la de la *evolución dirigida,* a la que dio el nombre de ortogénesis (1888). Según esta concepción, la dirección del desarrollo evolutivo de cada forma es indeterminada; no depende de las condiciones de vida. La variabilidad de las formas las reduce Eimer al crecimiento orgánico, al comparar el proceso evolutivo con el crecimiento de un cristal, que se verifica tan sólo en determinados planos, y al crear para cada sustancia figuras geométricas. Esta "teoría" no da una explicación materialista a la acomodación al fin en la naturaleza, y sus interpretaciones mecanicistas, al ser desarrolladas de un modo lógico, conducen al vitalismo y al concepto de una "fuerza vital" que rige el desarrollo.

Mecánica del desarrollo.

En el período de que nos ocupamos, alcanzó gran difusión en las ciencias biológicas burguesas la corriente llamada mecánica del desarrollo. En Zoología la propagó la escuela de Wilhelm Roux; en Botánica, fueron par-

tidarios suyos Klebs y Hebel. La mecánica del desarrollo estudia las leyes del desarrollo individual del organismo. Lo mismo que todas las corrientes de la biología burguesa del período de crisis, *aisla el organismo de su pasado histórico y del medio en que vive.* Según Roux, las causas del desarrollo de los individuos deben estudiarse por el análisis, es decir, descomponiendo el complicado sistema del organismo en sus partes integrantes. Empiezan a utilizarse ampliamente los experimentos, lo cual hace pensar que las leyes del desarrollo individual pueden ser comprendidas mediante la descomposición del conjunto. De ahí que el organismo se divida artificialmente, alterándose con ello la verdadera correlación entre las partes. El organismo se considera como una suma de partes, los órganos se estudian independientemente de sus funciones, aislados del organismo como un todo y de sus condiciones de existencia. La mecánica del desarrollo prescinde de la solución darvinista del problema relativo a la acomodación estructural del órgano y sus funciones y marcha por el camino del *empirismo puro*, apartándose, en última instancia, de la solución de este problema. Se limita a reunir datos sobre la morfología o la fisiología del desarrollo individual del organismo, sin preocuparse de analizar los rasgos estructurales y funcionales de los órganos y de apreciar la importancia biológica de las leyes de desarrollo.

La mecánica del desarrollo puede caracterizarse como el retorno a la primitiva concepción mecanicista y metafísica del mundo. Como materialistas inconsecuentes que son, los representantes de la mecánica del desarrollo se muestran incapaces de luchar contra las tendencias idealistas en Biología y acaban por caer ellos mismos en el idealismo. La mecánica del desarrollo acepta completamente la concepción autogenética del weismanismo.

Sin embargo, es digno de atención el cúmulo de datos que reúnen sus representantes, datos que esperan aún ser explicados desde el punto de vista materialista.

Vitalismo.

La falsa posición de la mecánica del desarrollo proporcionó al vitalismo un terreno abonado, precisamente el de los datos reunidos por los mecanicistas. Hans Driesch, el fundador del vitalismo, procede de la escuela mecanicista del desarrollo. Lo específico de la Biología, la acomodación estructural y funcional —que los mecanisistas no tienen presente— se convierten en el punto de partida del vitalismo.

En su estudio del proceso formativo, el mecanicismo del desarrollo no aclara las causas que producen el cambio de estados materiales. Este problema lo enuncian los vitalistas (Hans Driesch, 1915). Sin eliminar por completo la materia, la consideran condición indispensable de la vida de la masa inerte, regida por la "entelequia" como factor inmaterial. La entelequia constituye la base de la herencia, condiciona la integridad del organismo y sirve para explicar los fenómenos regenerativos. En la *entelequia* ven los vitalistas la *base de todo lo vivo*, es el símbolo de Dios en Biología.

Por lo tanto, al situar en primer lugar el principio de lo específicamente biológico, la idea de la integridad, los vitalistas dan una interpretación idealista falsa a estos conceptos. El "todo" de los vitalistas no es único con

sus partes, no las abarca, sino que posee una existencia independiente. El todo se halla por encima de las partes, dirigiéndolas.

Al hablar de la integridad del organismo, Driesch considera que las palabras "relaciones integrales" son sinónimo de acomodación, de conveniencia. En sus conclusiones, Driesch trata de apoyarse en el hecho de la capacidad reguladora y regeneradora de los organismos. Suponía la existencia, también en las células especializadas de los tejidos, de potencias "ocultas", "latentes". Driesch afirmaba que, por su naturaleza, todas las células son *equipotenciales,* y que en cierto grado pueden originar un todo. Sin embargo, la equipotencialidad, inherente desde un comienzo a las células, no puede realizarse sin un "factor" que active racionalmente unas potencias y modere otras.

Estos conceptos se basaban en los trabajos experimentales de Spemann y su escuela (representantes de la mecánica del desarrollo), a quienes pertenece la teoría de que el papel dirigente en el desarrollo pertenece a unos *organizadores* especiales.

Diferentes autores tomaban como "organizadores" el labio dorsal del blastóporo, la cubierta del rudimento intestinal, la cuenca del ojo, etc. Según ellos, el "organizador" en distintos lugares y distintas fases de desarrollo estimula diferentes potencialidades. Es decir, que a los "organizadores" se les atribuían propiedades de una actividad creadora general, de acuerdo con los objetivos perseguidos. Los datos experimentales hablan muchas veces en contra de semejantes conclusiones. Así, por ejemplo, el contacto con el cáliz óptico del ectodermo que se halla encima de él desarrolla el cristalino. Sin embargo, si extraemos el cáliz, el cristalino se desarrollará también. Si el cáliz lo trasplantamos a otro lugar (por ejemplo, a un costado del embrión), debajo de un epitelio de otra especie, el cristalino puede no desarrollarse. Podemos obtener formaciones complementarias en el embrión trasplantando no sólo "organizadores", sino también trozos de materiales inertes, como celoidina, hilo de seda, etc.

Por lo tanto, en los trasplantes, el "organizador" no es probablemente más que un estimulante no específico de lo que es propio de la región.

El cáliz determina lo que es semejante a él, el cristalino; el labio superior del blastóporo determina el tubo nervioso, es decir, una parte especializada de otro modo, precisamente la que es necesaria en ese lugar y en ese momento. La "teoría de los organizadores" afirma que el desarrollo de unas partes del organismo la dirigen otras partes, que se han desarrollado con anterioridad. Sin embargo, no nos dice qué es lo que determinó estos organizadores, que se desarrollan a partir de un zigoto no diferenciado; esta pregunta la deja Spemann en el aire. Contestan a ella los vitalistas, que atribuyen al organizador una actividad creadora consciente.

V. I. Lenin subrayaba que el materialismo mecanicista es impotente para luchar con el vitalismo, la fuerza del cual radica únicamente en la debilidad del mecanicismo. Manteniéndose en las posiciones del materialismo mecanicista metafísico es imposible sacar a la Biología del callejón en que se encuentra.

La biología burguesa está en crisis; la condición única e indispensable para remontarla es reconstruirla sobre la base del materialismo dialéctico.

El darvinismo social y el neomaltusianismo.

Indicábamos ya que el darvinismo social tiene su comienzo en Haeckel. Sus manifestaciones, expuestas en el calor de la polémica, de que la lucha por la existencia es propia también de la sociedad humana y la base de su progreso, fueron objeto de atención especial en el período de crisis. En este período el darvinismo social encuentra muchos seguidores y continuadores y se convierte en arma ideológica de la lucha de clases contra el proletariado, en el fundamento ideológico de la esclavización del pueblo.

El bajo nivel de vida de los pueblos esclavizados y atrasados culturalmente no se consideraba consecuencia de la explotación y la esclavitud de que eran objeto, sino resultado de una supuesta inferioridad biológica. Adquieren carta de naturaleza las teorías racistas, que afirman la desigualdad de las razas humanas; hay "razas de señores", "razas de esclavos", superiores e inferiores.

El concepto de "raza" viene a sustituir al concepto de pueblo e incluso al de clase. Posteriormente, esta seudodoctrina se convirtió en manos de los hitlerianos en un arma terrible de destrucción de pueblos. Aparte de la esterilización masiva obligatoria de quienes el gobierno consideraba indeseables, se montaron "fábricas de muerte", que aniquilaban organizadamente a centenares de miles de personas.

El darvinismo social modernizado, conocido como *neomaltusianismo*, incluso después del derrumbamiento del fascismo alemán ha encontrado defensores principalmente entre los científicos reaccionarios de Estados Unidos. Los neomaltusianos esgrimen ante el mundo la amenaza de la catástrofe que la superpoblación representa. Así, por ejemplo, W. Vogt (1948) daba las siguientes cifras: según sus datos, Estados Unidos tienen ya un exceso de población de once millones. La población de Europa, a pesar de las pérdidas de la guerra y de los crímenes hitlerianos entonces cometidos, ha aumentado en 45 millones. La humanidad se ve ante la amenaza de un descenso del nivel de vida, como resultado del progresivo aumento de la población. La salvación de la humanidad la ven los neomaltusianos en nuevas guerras destructoras, epidemias, hambres, mortalidad infantil, esterilización obligatoria, etc. La Medicina, que salva a muchas personas de la muerte prematura, debe ser responsable de su creciente empobrecimiento. Con sus medidas profilácticas y su lucha con las epidemias, la Medicina, según los neomaltusianos, perjudica a la humanidad. También origina un daño al conservar la vida de muchas personas afectadas de supuestas enfermedades "hereditarias". Según las teorías autogenéticas de la herencia, la Medicina es impotente para influir en el "plasma germinal"; por eso, las enfermedades "hereditarias" son incurables. Al multiplicarse las personas sin control, los genes de estas enfermedades afectan a círculos cada vez mayores y amenazan a la humanidad con la degradación y la bastardía. De acuerdo con ello, el enfermo es considerado un peligro social: no hay que curarlo, sino aniquilarlo. El papel del medio exterior se reduce a cero. Los genes son la única fuerza que rige el mundo.

La actitud del hombre hacia cuanto le rodea, su comportamiento, su posición social, todo viene determinado por la herencia. El hecho de que diferentes individuos que habitan el mismo medio no puedan adaptarse a la misma situación, se ofrece como prueba de que la causa no estriba en la situación, sino en el individuo. De ahí la conclusión: los desocupados y los

delincuentes no son producto del medio social, sino del plasma germinal. Por lo tanto, no son las relaciones capitalistas las que engendran la desocupación y la delincuencia, sino únicamente el "plasma germinal", la mala herencia. Esto lleva a una conclusión política: la única manera de luchar contra estos "delincuentes innatos" es destruirlos físicamente. Se habla también de genes de la suerte y la desgracia (A. Thomson), y de acuerdo con ello se clasifica a las personas en afortunados y desgraciados. Esta división constituye la base del sistema de clases. Al proletariado se le declara biológicamente inferior. Para que la humanidad sea feliz es necesario limitar la reproducción de los desgraciados. Esto da lugar a una ciencia falsa y antihumana, como es la Eugenesia. Por lo tanto, la crisis de la ciencia en los países capitalistas conduce a la Medicina a un callejón sin salida, convirtiendo la más humana de las ciencias en un arma de discriminación de clase.

Los investigadores progresistas de los países capitalistas rechazan y condenan estas deformaciones seudocientíficas. La ciencia ha acumulado últimamente en diversos países gran cantidad de datos relativos a las cuestiones de la herencia, que no caben en el lecho de Procusto de las concepciones autogenéticas. En todos los países del mundo hay científicos que se han declarado partidarios de la teoría michurinista de la herencia.

CONCLUSIONES

1. La teoría de Darwin fue acogida hostilmente por los representantes de las tendencias clericales y por todos los defensores del idealismo en las Ciencias Naturales. Sin embargo, entre los jóvenes científicos hubo muchos defensores del darvinismo, que lucharon en favor suyo.

2. A la cabeza de la lucha por el darvinismo en Inglaterra se puso Thomas Huxley. Son de especial valor sus investigaciones antropológicas, que robustecen la doctrina de Darwin sobre el origen del hombre.

3. Fueron también propagandistas activos del darvinismo en Inglaterra Hooker, que lo desarrolló en sus trabajos de Botánica, y Wallace, que reunió gran cantidad de materiales sobre la zoogeografía y la ecología de los animales, datos que confirmaban su teoría. Sin embargo, Wallace difiere de Darwin en una serie de cuestiones importantes.

4. En Alemania fue Ernst Haeckel quien encabezó la lucha en favor del darvinismo. Haeckel aplicó la doctrina de Darwin a los problemas de la filogenia de los animales, expuso la hipótesis del origen de la pluricelularidad y desarrolló, paralelamente a F. Müller, la teoría de la ley biogenética. Sin embargo, al defender el darvinismo contra los ataques de Virchow, Haeckel sostuvo la falsa opinión de las tendencias "aristocráticas" de esta doctrina, que fueron el punto de partida de la corriente reaccionaria: el darvinismo social.

5. En América del Norte, la defensa del darvinismo corrió a cargo del botánico Asa Grey, si bien en su polémica con Louis Agassiz trató de conciliarlo con la religión; en América del Sur, fue Fritz Müller quien propagó el darvinismo.

6. Cuando el capitalismo pasa a su fase de imperialismo, comienza también el período de reacción en la Biología.

7. La expresión más clara de esta reacción fueron las teorías autogené-

ticas de la herencia, que negaban la influencia del medio exterior en la base hereditaria.

8. Los psicolamarckistas deforman la doctrina de Lamarck, al atribuirle el concepto del factor psíquico "alma" como motor principal de la evolución. Los mecanolamarckistas ven el organismo como un material de formación inerte, formación que corre a cargo del medio exterior. La ortogénesis conduce al concepto de que la variabilidad de los organismos se halla dirigida desde un principio, es decir, al idealismo.

9. La mecánica del desarrollo, al colocarse en la senda de un puro empirismo, renuncia de hecho a resolver las cuestiones teóricas. Estudia el organismo de un modo metafísico, considerándolo una suma de partes, separado de su pasado histórico y del medio en que vive.

10. Los vitalistas reconocen la acomodación inicial, viendo su base en un factor regulador inmaterial.

11. El darvinismo social, el neomaltusianismo y las teorías autogenéticas de la herencia, aplicados al hombre, son para los imperialistas un arma en la lucha de clases.

CAPITULO XIV

DESARROLLO DEL DARVINISMO EN RUSIA

COMO FUE ACOGIDO EL DARVINISMO EN RUSIA

En Rusia el darvinismo encontró un *terreno suficientemente preparado.* Se reflejaba en ello la influencia de los grandes demócratas revolucionarios y publicistas A. I. Herzen, V. G. Belinski, N. G. Chernishevski, N. A. Dobroliúbov y D. I. Písarev, que con sus obras favorecieron el avance de la ciencia progresista. La acogida de que fue objeto el darvinismo también fue preparada por el trabajo de los propios científicos rusos.

El contenido revolucionario y materialista de la doctrina de Darwin atraía las mentes de la joven generación de intelectuales que no pertenecían a la nobleza. La ideología de la intelectualidad avanzada rusa se desrrolló en la década del 60 del siglo XIX bajo la bandera de la lucha contra el absolutismo, la rutina del dogma religioso y la filosofía idealista metafísica. V. I. Lenin escribía sobre esta época que el político más cauto y sensato había de reconocer que el estallido revolucionario era muy posible. A mediados del siglo pasado se editaban las revistas: *Notas Patrias, Biblioteca de Lectura* y *El Contemporáneo,* que insertaban trabajos originales de los científicos rusos y artículos traducidos. Estas publicaciones avivaron el interés hacia las ciencias naturales. Eran de especial importancia los artículos de Písarev, quien se esforzaba por despertar en la juventud el interés hacia este campo del saber.

El primero en dar a conocer a los estudiantes rusos la obra de Darwin fue el profesor de la Universidad de San Petersburgo Stepán Seménovich Kutorga, en una conferencia que pronunció en 1860 ante los alumnos del primer curso.

La primera conferencia sobre la teoría de Darwin, dedicada a un amplio público, la dio N. A. Sévertsov. No tardó en aparecer en la revista *Notas Patrias* un artículo editorial en el que se hacía un resumen de la doctrina de Darwin. El autor citaba una serie de pruebas, tomadas de sus investigaciones en el campo de la Paleontología y que venían a confirmar la teoría de Darwin. El segundo artículo del mismo autor fue publicado en dos números de *Biblioteca de Lectura:* en él, el autor no se limitaba a exponer la teoría de Darwin, sino que polemizaba con sus adversarios.

En 1862, I. I. Méchnikov, que entonces tenía sólo diecisiete años, publicó su *Estudio sobre el problema del origen de las especies.*

La traducción al ruso del libro de Darwin se publicó en 1864. Iba acompañado de gran número de artículos de revistas, en los que se popularizaba y explicaba la teoría de Darwin. Entre ellos merece ser citado el de Písarev *Progreso en el reino de los animales y las plantas,* publicado en *La Palabra Rusa* y en el cual ponderaba en extremo la teoría de Darwin.

Dos artículos de *Notas Patrias* eran de K. A. Timiriázev, a la sazón estudiante aún. Tenían por título *El libro de Darwin, sus críticos y comentaristas* y se caracterizaban por la profundidad del análisis y la forma magistral de exposición. Eran, sin duda, lo mejor que se había escrito no sólo en Rusia, sino en el mundo, sobre el darvinismo. Estos artículos constituyeron la base de su libro, publicado posteriormente *C. Darwin y su doctrina.*

Desde sus cátedras universitarias realizaron una amplia propaganda del darvinismo el conocido zoólogo N. A. Sévertsov y el botánico A. N. Béketov. Los dos desarrollaron con espíritu creador las ideas darvinistas en sus originales obras.

Como ya queda dicho, antes de la aparición del *Origen de las especies* de Darwin, Béketov expuso una serie de ideas fundamentales para el darvinismo.

Al conocer el libro de Darwin, Béketov aceptó su doctrina con espíritu crítico. Combatió las partes erróneas de esta doctrina, su maltusianismo; en contraposición a la idea de que el factor de la evolución es la competencia dentro de la especie, expuso su ley de fecundidad de las plantas (véase pág. 479), según la cual la fecundidad es una adaptación para conservar la especie.

Así, pues, la teoría de Darwin fue acogida con gran simpatía en la Rusia de los años sesenta y no encontró oposición en los círculos científicos rusos.

En 1867 Darwin fue elegido miembro correspondiente de la Academia Rusa de Ciencias. En la traducción al ruso de todas las obras de Darwin participó activamente el joven zoólogo M. A. Mensbir (1855-1935). Mensbir argumentó la doctrina de Darwin con materiales propios sobre la distribución geográfica de los animales. También participó en la traducción de las obras de Darwin el gran fisiólogo ruso I. M. Séchenov.

LUCHA DE K. A. TIMIRIAZEV CONTRA EL ANTIDARVINISMO Y DESARROLLO DEL DARVINISMO CREADOR SOVIETICO

A fines de la década del 70 y, sobre todo, en la del 80, comienza en Rusia la ofensiva contra el darvinismo. Coincide con la época más reaccionaria, con el reinado de Alejandro III.

En 1885 apareció el libro de Danilevski *Darvinismo,* en el que el autor atacó la explicación materialista de que en la naturaleza la adaptación se debe a la actividad de la selección natural. Afirmaba que la selección natural no ha existido, no existe y no puede existir. Danilevski recurrió el concepto idealista de la adaptación orgánica predeterminada como la "causa racional" del progreso en la naturaleza.

El publicista Strájov, partidario de Danilevski, quiso popularizar el libro de éste en varios artículos periodísticos; trató de presentarlo como un trabajo serio, que rebatía el darvinismo.

En contra del darvinismo se manifestó también Tijomírov, que no lo combatía científicamente, sino desde posiciones clericales, desde el punto de vista de la moral.

El eminente biólogo ruso *Kliment Arkádievich Timiriázev* atajó decididamente la reacción antidarvinista en la ciencia rusa.

K. A. Timiriázev nació en 1843, en Petersburgo. Pertenecía a una familia noble arruinada. Sus padres eran personas muy cultas de ideas radicales, incluso revolucionarias. Timiriázev recibió la enseñanza primaria en casa, pero a causa de las dificultades económicas que experimentaba su familia hubo de ganarse la vida realizando traducciones. En 1861 ingresa en la Universidad de San Petersburgo, de la que fue expulsado al año siguiente por negarse a dar su palabra de no participar en los movimientos estudiantiles. Solamente al cabo de un año pudo proseguir los estudios como alumno libre. En 1865 se licenció en la Sección de Historia Natural de la Facultad de Física y Matemáticas, obteniendo la medalla de oro por su trabajo *Sobre la estructura de las briofitas hepáticas*.

K. A. Timiriázev.

Timiriázev fue catedrático de la Academia Agrícola de Petrovsko-Razumovski, a la que después se le dio su nombre, y también de la Universidad de Moscú. No podía permanecer al margen de la vida social y política del país, y a su alrededor se agruparon los profesores de ideas avanzadas y los estudiantes de espíritu revolucionario, que siempre encontraban en él apoyo y defensa.

Un catedrático así no podía agradar a la administración reaccionaria; se decía de él que a expensas del erario público eliminaba a Dios de la naturaleza. En 1892 Timiriázev fue expulsado de la Academia.

En la Universidad se negó a firmar una carta llena de falsedades que los catedráticos dirigían a los estudiantes conminándoles a "poner fin a los desórdenes"; más aún, les propuso escribir una declaración conjunta exigiendo del Ministerio el cese de las represalias. Esto le valió una amonestación, por negarse a influir sobre los estudiantes para apaciguarlos. En 1911, en señal de protesta contra las persecuciones ministeriales de que la Universidad era objeto, Timiriázev la abandonó también a la cabeza de 124 catedráticos y auxiliares. Este paso tuvo gran alcance social y político, ya que Timiriázev gozaba de enorme popularidad, tanto en Rusia como entre los representantes progresivos de la ciencia en el extranjero.

Timiriázev fue invitado a Londres para dar una de las llamadas "Lectures of the Crown"; con tales invitaciones eran honrados los hombres de ciencia más famosos del mundo. La conferencia de Timiriázev versaba sobre el *Papel cósmico de la planta*. En ella hizo el resumen de sus trabajos en el transcurso de 35 años.

Timiriázev pronunció muchas conferencias de divulgación, así como informes y discursos sobre temas generales y especiales, celebró las llamadas charlas dominicales, etc., colaboró también en muchos periódicos y revistas.

Timiriázev acogió con gran entusiasmo la revolución en Rusia. Después del establecimiento del poder soviético, participó activamente en la construcción de la nueva vida, trabajando en los organismos soviéticos (Consejo Científico del Estado, Academia Comunista, Editorial del Estado, etc.). Fue elegido diputado del Soviet de Moscú.

En el último período de su vida publicó *Ciencia y democracia*, obra que Lenin comentó muy elogiosamente.

Timiriázev colaboró en el periódico *Nueva Vida* y en la revista *Mundo Obrero*, etc. Falleció en 1920. Las últimas palabras de este sabio bolchevique fueron de saludo al Partido Comunista.

Sus artículos *¿Está rebatido el darvinismo?* y *Cólera impotente de los antidarvinistas*

problemas de la Biología teórica. Este principio, que colocó la Biología sobre nuevos carriles, se ha convertido en un potente resorte de la actividad práctica en todas las ramas de esta ciencia.

Los principios de un trabajo creador en la cría de ganado fueron enunciados por el académico *Mijail Fédorovich Ivanov* (1871-1935).

M. F. Ivanov realizó una gran labor científica y de investigación en el vedado de Askania-Nova, investigó el estado de la ganadería rusa en los enormes territorios que se extienden desde Arcángel hasta Stávropol y Astrakán, en la región de Járkov, etc. En 1925 Ivanov organizó en el vedado de Askania-Nova una estación experimental y de ganado de raza, que después se convirtió en el Instituto de Investigación Científica que lleva su nombre.

Hasta entonces las razas de animales se obtenían en realidad a tientas, gracias a la habilidad personal de uno u otro criador, sin que existieran principios científicos en que apoyarse para obtener nuevas razas. Esos principios se los proporcionó a la ciencia soviética Ivanov. Sus métodos eran una ampliación del darvinismo y constituyeron la base para la transformación de toda la ganadería soviética. La práctica ha confirmado su valor.

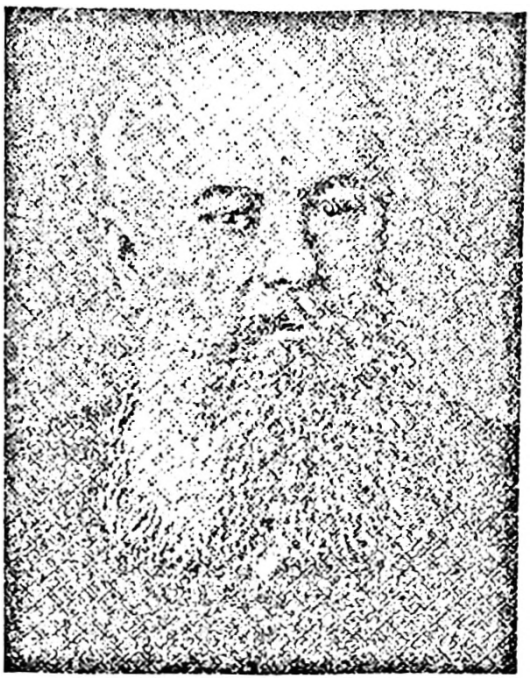
Sobre la base de los trabajos de Ivanov, en 30 años de poder soviético se produjeron cuatro nuevas razas de ganado vacuno, tres de caballos, siete de ovejas y tres de cerdos. Además, ha aumentado considerablemente la productividad de las razas antiguas y están terminándose los trabajos para crear numerosas razas nuevas.

Aunque el académico Ivanov trabajó independientemente de Michurin, sus métodos son los de este último.

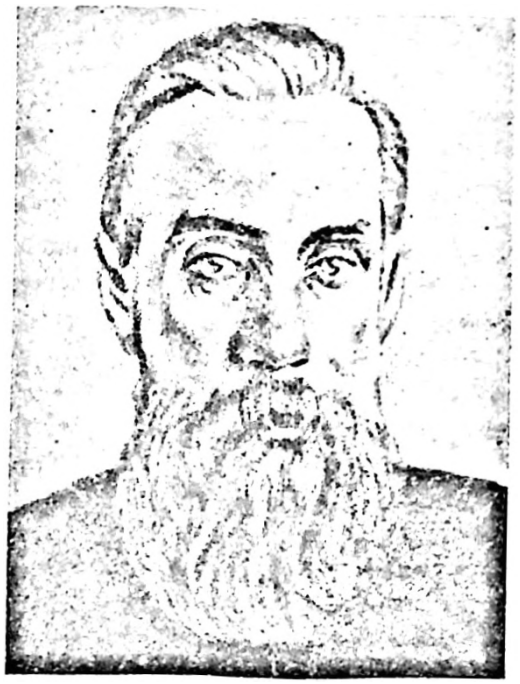
A los avances del darvinismo creador soviético han contribuido en alto grado los trabajos de los fundadores de la edafología científica, los transformadores del cultivo de la tierra V. V. Dokucháev, P. A. Kóstichev y V. R. Williams. Estos eminentes investigadores crearon las bases del cultivo socialista de la tierra.

Vasili Vasílievich Dokucháev dedicó toda su vida al estudio del suelo de Rusia. Gracias a él, la terminología edafológica rusa ha penetrado en todos los idiomas; Dokucháev es el fundador de la Edafología.

Fue el primero en levantar el mapa del suelo del hemisferio Norte, en el que reflejaba la distribución zonal de los terrenos; por vez primera, emprendió el estudio del suelo como un *cuerpo específico histórico-natural, que debe su aparición a la influencia mutua en la naturaleza de lo vivo y lo que no vive.* Dokucháev determinó los factores que intervienen en la formación de los terrenos y mostró que los diferentes suelos son producto de la variación por zonas de los factores que los integran. Como resultado de sus investigaciones, la Edafología se ha convertido en una disciplina muy amplia dentro de las ciencias naturales. En sus trabajos le servían siempre de guía las necesidades y exigencias de la agricultura. El conocimiento del terreno y sus diferentes propiedades fueron para él el modo de "*dominar y dirigir el suelo* con fines agrícolas, forestales e higiénicos puramente prácticos". Para obtener en diferentes regiones de Rusia cosechas elevadas y constantes, propuso dividir el país en regiones exactamente delimitadas y elaborar métodos y procedimientos de cultivo en consonancia con las condiciones locales. El ambiente de reacción en que se desenvolvía no impidió su labor, que lo llevó a esbozar el plan agrotécnico para la reconstrucción de la agricultura esteparia. En este sentido preveía la lucha contra la



V. V. Dokucháev.



P. A. Kóstichev.

sequía, la creación de franjas arbóreas protectoras, la contención de la nieve, la regulación de los ríos y la construcción de embalses, es decir, todas las medidas que ayudan al hombre a transformar activamente el clima y la naturaleza del lugar.

Pável Andréevich Kóstichev dedicó sus esfuerzos a esclarecer las *causas* fundamentales y decisivas que determinan *la disminución de la fertilidad del suelo* y a luchar contra las teorías que sostienen el descenso de la fertilidad.

Kóstichev fue el primero en determinar el verdadero *significado de la estructura* del suelo. Gracias a sus trabajos se llegaron a conocer las causas del restablecimiento de la fertilidad de las tierras baldías y en barbecho. Mostró cómo varían las propiedades físicas y químicas de la capa de cultivo bajo la influencia de las hierbas, y fue el primero en descubrir el elevado efecto técnico del sistema de dejar descansar a la tierra.

Vasili Robértovich Williams (1863-1939) creó la teoría de la evolución de la formación del suelo, que va paralela al desarrollo del mundo orgánico. Según Williams, los diferentes tipos de terrenos representan fases del desarrollo de un proceso formativo único.

En su teoría, Williams *sintetizó las corrientes genética* (Dokucháev) *y agronómica* (Kóstichev). Es el autor de los fundamentos de la ciencia evolutiva actual del suelo.

Williams demostró la inconsistencia de las teorías sobre el empobrecimiento regular de la fertilidad del suelo.

El darvinismo creador soviético ha experimentado nuevos avances con los trabajos de *Trofím Denísovich Lisenko.*

Basándose en la solución práctica de las tareas fundamentales de la agricultura socialista, Lisenko amplía las ideas de Timiriázev y Michurin sobre la transformación de la naturaleza de las plantas, uniendo sus puntos

de vista con la teoría de Dokucháev, Kóstichev y Williams acerca de los procesos de formación del suelo y la elevación de su fertilidad.

V. R. Williams.

I. M. Séchenov.

Lisenko encabezó en la Unión Soviética la lucha contra las teorías reaccionarias autogenéticas, que frenaban el desarrollo de la Biología. Esta lucha culminó en la discusión científica que tuvo lugar en agosto de 1948, en la Academia Lenin de Ciencias Agrícolas de la U. R. S. S. Allí quedaron demostrados la esterilidad y el carácter anticientífico de las teorías autogenéticas, determinando el triunfo de la concepción materialista dialéctica en la Biología y su expansión en la Unión Soviética.

Rasgos fundamentales del darvinismo creador soviético.

Los elementos nuevos de esta doctrina, que eleva el darvinismo a una etapa superior, son los siguientes:

1. El darvinismo creador soviético se basa en el materialismo dialéctico.
2. El organismo se considera formando un todo con el medio en que vive.
3. La interpretación acertada de las relaciones entre el organismo y el medio descubre el fondo de la herencia y su variabilidad.
4. El darvinismo creador soviético explica las causas que motivaron las variaciones iniciales, las cuales ofrecen los materiales para la selección.
5. El darvinismo deja de ser una teoría que sólo explica el pasado del mundo orgánico y se convierte en una teoría creadora, que permite dirigir el proceso evolutivo.
6. Esta doctrina aporta un nuevo método de selección artificial, la selección educativa planificada, que eleva la selección práctica a una nueva etapa más elevada.

7. El darvinismo creador soviético representa la expansión de todas las ramas de las ciencias naturales.

DESARROLLO DE LA FISIOLOGIA EVOLUCIONISTA DE LOS ANIMALES Y DEL HOMBRE

El fundador de la Fisiología evolucionista materialista fue *Iván Mijáilovich Séchenov* (1829-1905). Sus méritos son relevantes en lo que se refiere al estudio de la *actividad nerviosa*. En Séchenov comienza también la Psicología moderna.

Este sabio progresista se hallaba en oposición con el gobierno de la autocracia zarista y mantuvo una lucha sin cuartel contra el idealismo en la ciencia.

En sus experimentos —con ranas— acerca de la acción de diferentes cuerpos químicos sobre el sistema nervioso, Séchenov descubrió en el cerebro unos centros especiales, que suprimían o debilitaban las reacciones motoras surgidas como respuesta al estímulo. Séchenov dio a estos centros el nombre de *centros de inhibición*.

Séchenov comprobó en sí mismo los experimentos que acerca de la inhibición había realizado con ranas, descubriendo que la inhibición volitiva puede interrumpir en el hombre reflejos muy importantes. Estos experimentos *aclararon la función del sistema nervioso y de la psique y la conciencia con él relacionadas*. Las conclusiones que sobre el mecanismo de debilitación de los reflejos se desprendían de estos experimentos permitieron explicar los actos volitivos y psíquicos de la actividad humana.

Estas ideas las amplió Séchenov en su obra *Reflejos cerebrales*. Su aparición le ganó la simpatía de todos los rusos de ideas avanzadas, a la vez que las persecuciones del gobierno zarista.

Séchenov fue el primero en alzar el velo del desconocido campo de los fenómenos psíquicos y en dar una interpretación materialista a los procesos que transcurren en el cerebro.

El substrato material del alma es, según Séchenov, el *cerebro*. La actividad del cerebro determina el mundo interno del hombre, que abarca toda su vida psíquica. Esta concepción de Séchenov corresponde rigurosamente al principio fundamental de la filosofía materialista, a la materialidad del mundo. Séchenov expone una idea completamente nueva: que toda la vida psíquica con sus manifestaciones motoras es apoyada y estimulada por las influencias que reciben del exterior los órganos sensoriales y por las excitaciones del sistema sensorial nervioso que surgen dentro del organismo.

Partiendo de sus observaciones y experimentos fisiológicos, Séchenov formuló el principio de que toda la variedad de manifestaciones exteriores de la actividad cerebral se reduce, en última instancia, a un solo fenómeno, el *movimiento muscular*. "La risa del niño ante el juguete, la sonrisa de Garibaldi cuando lo destierran por su excesivo amor a la patria, el temblor de una joven cuando piensa por vez primera en el amor, Newton estableciendo leyes universales y escribiéndolas en el papel, en todos los casos el hecho final es el movimiento muscular",[1] escribía Séchenov.

Séchenov *desarrolló con espíritu creador las ideas materialistas de Dar-*

[1] I. M. Séchenov, *Obras escogidas*, Moscú, 1953, pág. 33.

win sobre el papel del medio exterior. El medio en que vive el animal es, según Séchenov, el factor que determina su organización. Cuanto más elevada es la organización nerviosa, gracias a la cual el animal se orienta en el tiempo y en el espacio, mayor es la esfera de acción que sobre él ejercen los factores exteriores, y más diversos los posibles procedimientos de que dispone el animal para la adaptación a las condiciones del medio. En la larga cadena de la evolución de los organismos, la complicación de la organización y la complicación del medio que actúa sobre ella son factores que se condicionan mutuamente. Séchenov estudió el organismo unido al medio que le rodea, llegando a la conclusión de que la *educación es un factor decisivo en la formación de la personalidad.* Subrayó especialmente que el desarrollo cultural de la persona lo determina la educación en el amplio sentido de la palabra, la influencia de las condiciones sociales de vida y la actividad humana, y depende en menor grado de sus rasgos individuales o sus características raciales.

Séchenov quiso introducir en la Psicología los métodos de investigación fisiológica objetiva. En una serie de artículos describió el desarrollo histórico de los procesos psíquicos, tanto en la ontogénesis del hombre como en la evolución de todo el reino animal.

Según Séchenov, todos los actos nerviosos se realizan *en forma de reflejos,* incluso los de la vida psíquica. Llega a la conclusión de que las influencias del mundo exterior son los factores que determinan los fenómenos psíquicos en todas las fases de desarrollo.

Séchenov aplicó todos los adelantos de la Fisiología al estudio de los procesos que tienen lugar en el organismo humano durante el trabajo.

Partiendo de la acertada interpretación de las relaciones entre el organismo y el medio, Séchenov llegó a la conclusión lógica de que *en el proceso evolutivo es fundamental el papel de la herencia de los caracteres adquiridos.*

Las ideas de Séchenov fueron ampliadas en los trabajos de *Iván Petróvich Pávlov* (1849-1936). Pávlov es el creador de la fisiología materialista contemporánea avanzada.

Las obras de Pávlov tienen una enorme importancia *biológica general.* Sus puntos de partida se entrelazan con las ideas de la doctrina michurinista.

Pávlov se mostraba decidido en pedir que todas las conclusiones de carácter teórico fuesen comprobadas en la práctica. Escribía: "Solamente puede decir que ha estudiado la vida quien sea capaz de volver a su estado normal el funcionamiento que ha sido alterado."[1]

Según Pávlov, la Fisiología puede prestar una gran ayuda al médico tan sólo si se cumple una rígida condición: que los datos fisiológicos se vean constantemente sometidos a la comprobación clínica.

El principio fundamental que rigió toda la actividad científica de Pávlov es la idea de la *unidad entre el organismo y el medio* en que vive o la dependencia en que el comportamiento del animal y todas las funciones de su organismo se hallan respecto de las condiciones del medio exterior.

Pávlov, lo mismo que Michurin, considera que su tarea fundamental consiste en *influir activamente en el organismo, aprender a dirigirlo.* Es-

[1] I. P. Pávlov, *Obras completas.* Moscú-Leningrado, 1946, t. II pág. 354.

cribía: "... se demostrará que hemos llegado a dominar los procesos y los gobernamos."[1]

La Fisiología del período anterior a Pávlov estudiaba el organismo utilizando un experimento de carácter extremo, como es la vivisección.[2] Semejante método no podía dar una idea acertada del organismo funcionando normalmente. El miedo que experimenta el animal, el dolor al poner al descubierto los órganos internos, deforman los procesos vitales que tienen lugar en ellos. I. P. Pávlov se manifestó decididamente contra el antiguo método de la vivisección. Se planteó la tarea de estudiar el *organismo entero sin causarle ningún daño,* manteniéndolo en las condiciones lo más semejantes a las naturales.

A ello respondía totalmente el método propuesto por él del *experimento crónico.*

Según este método, se sacan a la superficie de la piel del animal los canales de diferentes glándulas (método de las fístulas). Las observaciones se llevan a cabo en el animal sano, una vez repuesto completamente de la operación, lo que permite estudiar la actividad de cualquier órgano en estado normal.

I. P. Pávlov.

Por lo tanto, Pávlov fue el primero en crear el *método sintético de investigación en Fisiología.* Señaló reiteradamente que el método analítico de estudio de las funciones del organismo era necesario completarlo con el método sintético de investigación del organismo completo.

Con ayuda del método del experimento crónico, Pávlov investigó distintas influencias externas sobre las funciones de las glándulas digestivas, y también la influencia del hambre, el cansancio, el estado enfermizo, el embarazo, etc.

El estudio del organismo entero en su unidad con el medio exterior tiene sus raíces en las obras de I. M. Séchenov y S. P. Botkin y también en las concepciones filosóficas de los demócratas y educadores rusos Herzen, Chernishevski, Dobroliúbov y Písarev, bajo la influencia de los cuales se formó en Pávlov la concepción materialista del mundo.

Darwin expuso la teoría de la adaptación del organismo al medio en que vive, pero quedaba sin descubrir la naturaleza fisiológica de estos fenómenos en el organismo animal. La doctrina de Pávlov sobre la actividad nerviosa superior puso en claro los *procedimientos que sigue el animal para adaptarse a las condiciones, en constante variación, del medio exterior.*

[1] I. P. Pávlov, *Veinte años de experiencia de estudio objetivo del sistema nervioso superior de los animales,* 1938, pág. 690.

[2] Vivisección, operación realizada sobre el animal vivo para estudiar las funciones del organismo y aclarar las causas de su enfermedad, etc.

Pávlov determinó el modo como se realiza esta adaptación, y no sólo en la vida de un individuo concreto, sino también en el proceso de desarrollo del reino animal.

Al estudiar el organismo entero en sus relaciones con el medio, Pávlov mostró el papel primordial del sistema nervioso en este proceso.

El sistema nervioso es el *regulador del metabolismo,* pero al mismo tiempo su organización y actividad vienen determinadas por el intercambio del organismo con el medio exterior y por el metabolismo en el interior de dicho organismo. Pávlov señaló la importancia especial de la *corteza de los hemisferios cerebrales* en la regulación de todas las funciones vitales del organismo.

Es decir, que la idea *neuralismo,* tal y como Pávlov la aplicaba, consiste en el estudio del organismo en su totalidad, las funciones del cual se cumplen en relación estrecha bajo la dirección del sistema nervioso, que realiza al mismo tiempo el papel de regulador.

Pávlov propuso un método genial, y sencillísimo a la vez, para estudiar la actividad nerviosa superior. Eligió el *funcionamiento de las glándulas salivales.*

Las observaciones mostraban que la salivación se produce por el contacto de los alimentos con la mucosa bucal. Este reflejo se llama *directo innato* o *no condicionado.*

Cuando los alimentos actúan a distancia (percepción visual y acústica, olfato), el reflejo secretor de la saliva aparece únicamente si se dan diversas coincidencias de estos estímulos con el reflejo no condicionado. Tales reflejos aparecen en los animales después de su nacimient,o como resultado de la experiencia: Pávlov los llamó *adquiridos* o *condicionados.* Pávlov obtuvo en su laboratorio reflejos condicionados en perros cuando, coincidiendo con la toma de los alimentos, se encendía una lámpara eléctrica, se hacía sonar un timbre o se daban otras señales.

Además de los reflejos nutritivos, existen otros reflejos no condicionados, como son el defensivo, el sexual, etc.

Pávlov definió el *reflejo no condicionado como una relación permanente del agente exterior con la reacción de respuesta, y el reflejo condicionado, como una relación temporal.*

Los órganos sensoriales disponen de centros sensitivos en la corteza de los hemisferios cerebrales; el reflejo condicionado puede formarse solamente si participan estas regiones o centros de la corteza. Los originan los diferentes cambios del medio exterior o del mismo organismo, que actúan sobre los órganos sensoriales.

Los reflejos condicionados surgen sobre la base de los no condicionados, amplian las relaciones del organismo con el mundo exterior y sirven como señales de las excitaciones no condicionadas. Por ejemplo, el ruido que produce una fiera al aproximarse y su aspecto actúan como señales avisadoras del peligro.

Los reflejos condicionados pueden *acumularse* unos sobre otros; un reflejo condicionado puede servir de base a otro. Así aparecen los reflejos condicionados de segundo, tercero e incluso cuarto grado. La cadena de estos reflejos en el hombre es mucho mayor.

El reflejo condicionado se conserva mientras las condiciones del medio exterior que lo originaron tienen importancia vital para el animal.

Si el estímulo condicionado no va unido al no condicionado, se debilita

hasta desaparecer. El estudio que Pávlov hizo del proceso de *inhibición* que entonces tiene lugar demostraba que así es como se asegura la reacción *adecuada* del organismo respecto a los cambios que se producen en el mundo exterior.

El trabajo de los hemisferios cerebrales se reduce, en lo fundamental, al análisis y la síntesis de los estímulos que llegan a ellos.

Semejante actividad es lo que Pávlov denominó pensamiento elemental, concreto, pensamiento del que, según él, depende la adaptación total del organismo al medio.

Los animales, cuando nacen, tienen ya reacciones encaminadas a un fin: el mamífero recién nacido mama la leche, el polluelo pica la comida, etcétera.

Los instintos de los animales son reflejos no condicionados, que se forman en la filogenia y conservan la vida de los individuos y la vida de la especie. Constituyen complicados actos de comportamiento, que se transmiten de generación en generación. Los instintos están condicionados por las *características estructurales y funcionales hereditarias del sistema nervioso.*

Después de su nacimiento se forman en los animales los *reflejos condicionados,* que se diferencian de los no condicionados en que *son modos individuales de adaptación* de cada animal a las condiciones concretas en que vive, mientras que el *instinto* o reflejo no condicionado es la *adaptación biológica de la especie.*

La formación de los instintos está relacionada con la *variación de la estructura* del organismo. Los instintos son modos de adaptarse a variaciones del medio exterior, que transcurren *lentamente* en el proceso de desarrollo filogenético de la especie.

La formación de reflejos condicionados no va acompañada de cambios estructurales del organismo animal. El reflejo condicionado es el procedimiento de adaptación a los *cambios rápidos del medio exterior;* tienen singular importancia para la conservación de los individuos.

La unidad de los reflejos condicionados y no condicionados se traduce en la posibilidad de aparición de relaciones temporales complejas entre los instintos.

La doctrina de I. P. Pávlov sobre los reflejos condicionados aclara el problema más complicado de la Biología, el origen de los instintos. Las relaciones nerviosas temporales aparecieron al formarse en los animales el sistema nervioso. Pávlov escribía: "Se puede aceptar que algunos reflejos condicionados se transforman después en no condicionados por medio de la herencia."[1]

Los instintos, lo mismo que las relaciones nerviosas temporales, se formaron bajo la acción del medio, de acuerdo con las nuevas condiciones de vida; estas nuevas condiciones ayudaron a modificar la constitución de los organismos, influyendo en primer lugar sobre el sistema nervioso, al estimular las nuevas formas de comportamiento de los animales.

En tiempos remotos, los instintos constituían relaciones nerviosas temporales, pero que correspondían a las condiciones de vida de muchas generaciones. Semejantes relaciones temporales —los reflejos condicionados— *se hicieron hereditarias;* la selección natural las fue acumulando y fijando, dando lugar a que se transformasen en relaciones nerviosas permanentes

[1] I. P. Pávlov, *Obras completas,* t. III, Moscú-Leningrado, 1949, pág. 217.

—los reflejos no condicionados o instintos—. Este proceso se realizó durante miles de años. La formación de nuevas relaciones temporales puede observarse también en los invertebrados; por ejemplo, si durante cierto tiempo hacemos pasar una corriente eléctrica por un cuadro pintado del suelo, podremos lograr que una cucaracha llegue a evitarlo.

Entre los animales inferiores, la adaptación al medio se refleja, principalmente, en el *desarrollo de los instintos*. Entre los animales *superiores*, los vertebrados, por ejemplo, *predominan relaciones temporales*, modos de comportamiento adquiridos, a consecuencia de lo cual, estos organismos se encuentran mejor adaptados a los cambios rápidos del ambiente.

Por tanto, la base de la evolución animal es una relación neuro-temporal, el reflejo condicionado. El reflejo no condicionado o instinto es una simplificación del reflejo condicionado. Si admitimos la evolución tendremos que negar la existencia eterna de los instintos.

En su defensa de la transmisión hereditaria de los caracteres adquiridos Pávlov polemizó con Thomas Morgan (1920). Pronunciόse categóricamente contra el "producto hereditario", independiente del organismo y de las condiciones del medio.

Los instintos son modos de adaptarse a condiciones de existencia concretas, con las cuales se conforman. Sin embargo, las condiciones del medio pueden cambiar rápidamente, mientras que las formas instintivas de actuación varían con mucha lentitud, a consecuencia de lo cual se observan a menudo hechos que al parecer hablan en contra de la conformidad de los instintos con una finalidad. Eso se refiere a los animales superiores e incluso el hombre. Por ejemplo, puede observarse que el hombre actual cuando experimenta una intensa emoción (de cólera o terror) respira irregularmente, se le acelera el pulso, palidece, tiembla, etc. Ello tiene una explicación histórica en el comportamiento de nuestros lejanos antepasados, entre los cuales semejantes emociones iban siempre acompañadas de fuertes reacciones motoras. Por ejemplo, cuando se encontraban con un enemigo, entablaban la lucha con él o emprendían la fuga. A pesar de que el hombre actual puede frenar sus reacciones motoras, no es capaz, sin embargo, de inhibir la reacción de sus órganos internos respecto a un trabajo que en realidad no ejecuta, pero que en condiciones semejantes realizaban sus lejanos antecesores.

La abeja pone la miel en celdas que tienen el fondo perforado, etc. Estos y otros ejemplos semejantes demuestran que la experiencia acumulada durante miles de años, durante el proceso de desarrollo filogenético de la especie, prevalece a menudo sobre la experiencia individual.

En condiciones normales, el cambio de instintos se realiza con extraordinaria lentitud a lo largo de numerosas generaciones. La intervención del hombre da lugar a que este proceso se acelere extraordinariamente. La experiencia del Parque Zoológico moscovita demuestra que la transformación de algunos instintos de animales salvajes puede realizarse en el transcurso de una o dos generaciones, siempre que las crías sean convenientemente educadas.

Pávlov indicó que entre el hombre y los animales existen *diferencias radicales*.

Los animales disponen solamente del *primer sistema de señales*, es decir, que para ellos las señales son influencias directas de los objetos y los fenómenos en los distintos receptores del organismo.

El primer sistema de señales también lo posee el hombre, pero éste dispone además del *segundo sistema de señales*, en el que los estímulos no son los fenómenos y los objetos mismos, sino su denominación, las palabras.

La teoría acerca del segundo sistema de señales indicó el procedimiento a seguir para el estudio de los rasgos característicos de la actividad nerviosa superior en el hombre. Esta teoría descubrió nuevas perspectivas de investigación, no sólo en la Fisiología, sino también en Psicología, Pedagogía y Medicina.

La teoría del segundo sistema de señales, que Pávlov enunció en los últimos años de su vida, es la culminación de su doctrina sobre las funciones de los hemisferios cerebrales del hombre. A esta misma época pertenece su teoría sobre los *tipos de sistema nervioso*.

Las características del sistema nervioso están condicionadas por la intensidad de los procesos fundamentales, la *excitación* y la *inhibición*, su equilibrio y su movilidad. Las diferentes combinaciones de los rasgos señalados del sistema nervioso determinan su tipo.

El carácter de la actividad nerviosa de cada individuo se compone, según Pávlov, de las características *innatas* de su sistema nervioso y de las *variaciones, debidas al medio exterior*. Sin embargo, Pávlov consideraba que la división de las propiedades del sistema nervioso en hereditarias y adquiridas es relativa. Experimentos especiales demostraron que, bajo la influencia de la situación y la educación, es posible modificar el tipo de sistema nervioso. Estos experimentos permitieron advertir algunas de las leyes que regulan la *transformación de los tipos de sistema nervioso* en la ontogénesis y las posibilidades de fijar mediante la herencia los cambios logrados.

La teoría sobre los tipos de sistema nervioso se ha convertido en una de las bases de que parte el estudio de la actividad nerviosa superior y cumple un importantísimo papel en las investigaciones relacionadas con las neurosis experimentales.

El estudio de los procesos de excitación e inhibición en la corteza cerebral del perro, que aclararon la dinámica de estos dos estados del sistema nervioso, tuvo gran importancia práctica. Según Pávlov, el papel fundamental de la inhibición consiste en proteger las células cerebrales debilitadas, extenuadas. La inhibición les facilita el *reposo* necesario.

Pávlov escribió que las células de los hemisferios cerebrales son extraordinariamente sensibles a las menores oscilaciones del medio exterior, y por eso hay que protegerlas contra la tensión excesiva, para evitar su destrucción orgánica. La inhibición constituye el medio protector de los hemisferios cerebrales. Si los procesos de inhibición y excitación ven alterado su curso normal, se desarrollan las *neurosis*.

La comprensión de las leyes de la actividad nerviosa superior de los animales llevó a Pávlov al estudio de los trastornos patológicos de dicha actividad en el hombre. Las neurosis producidas experimentalmente en los animales sirvieron, por decirlo así, de modelos de enfermedades semejantes en el hombre, con lo que Pávlov pudo señalar las vías de su tratamiento y descubrir nuevos métodos de cura; uno de los más notables es el de la *cura mediante un prolongado sueño artificial*, que se aplica ampliamente en psiquiatría.

El planteamiento del papel decisivo del medio en la actividad de adaptación del sistema nervioso, el modo de interpretar la aparición de los ins-

tintos como el paso de reflejos adquiridos a reflejos no condicionados, innatos, el enfoque de las funciones fisiológicas para llegar a *dominarlas y dirigirlas,* todo esto establece vínculos de afinidad entre la doctrina fisiológica de Pávlov y la teoría michurinista.

La obra científica de Pávlov sirve a la causa de la lucha contra el idealismo y la reacción. Responde a las necesidades más perentorias de la Medicina soviética, llamada a proteger la salud de los hombres que construyen el comunismo.

DESARROLLO DE LA MORFOLOGIA EVOLUTIVA

El honor de haber creado la Embriología evolutiva pertenece a una pléyade de investigadores rusos, a la cabeza de los cuales figuran A. O. Kovalevski e I. I. Méchnikov. También son grandes los méritos de los científicos rusos en Zoología y Anatomía comparada. Los principios de la Paleontología evolutiva quedaron expuestos en los trabajos de Kovalevski.

Alexandr Onúfrievich Kovalevski (1840-1901) ocupó uno de los puestos más destacados entre los morfólogos de la segunda mitad del siglo XIX.

Su primer trabajo importante trataba del desarrollo del *Amphioxus lanceolatus* (Branchiostoma).

Este animal tiene muchos caracteres que le aproximan a los invertebrados (sistema excretor, representado por nefridios con solenocitos, constitución de los tegumentos), pero la presencia de un esqueleto axil en forma de cuerda dorsal, la estructura del sistema nervioso central y su distribución, la presencia de un órgano, o vesícula, impulsor, situado en la parte ventral del cuerpo, y otros rasgos, lo aproximan a los vertebrados.

Antes de Kovalevski la verdadera naturaleza del *Amphioxus* y su situación en el sistema del reino animal no estaban claros.

Kovalevski descubrió que el desarrollo embrionario del sistema nervioso del *Amphioxus* se realiza del mismo modo que en los vertebrados, a la vez que la formación del intestino tiene mucho de común con el proceso análogo en los invertebrados. Esta rara mezcla de caracteres estructurales de vertebrado e invertebrado llevó a Kovalevski a la conclusión de que el *Amphioxus* es una forma intermedia, que une ambas grandes secciones del reino animal.

Era una importantísima demostración de la evolución de los animales.

El trabajo de Kovalevski permitió *reformar el sistema taxonómico del reino animal y establecer un nuevo tipo, los cordados.*

Después, al estudiar las ascidias, Kovalevski descubrió en ellas una larva que nada libremente, con cola, notocordio y un sistema nervioso bien desarrollado. Al pasar al estado adulto la larva se fija, pierde la cola, los órganos sensitivos y el notocordio, y se le simplifica el sistema nervioso, es decir, se producen en ella cambios regresivos.

Kovalevski comprobó que el desarrollo embrionario inicial de la ascidia sigue el mismo proceso que en todos los cordados, llegando a la conclusión que las *ascidias son animales cordados que han degradado mucho.*

Encontró, pues, un estado más, que enlazaba los invertebrados con los vertebrados.

Como escribió Darwin, el trabajo de Kovalevski fue "...la clave para llegar a la fuente de origen de los vertebrados".[1]

Kovalevski realizó sus investigaciones de *Embriología comparada* estudiando ejemplares pertenecientes a distintos grupos del reino animal, dedicando especial atención a las formas cuya situación en el sistema era poco clara.

Proporcionó a la ciencia un valiosísimo material basado en datos sobre la historia evolutiva de casi todos los grupos de invertebrados (medusas, pólipos coralinos, ctenarios, anélidos, equinodermos, insectos, moluscos y braquiópodos). También dedicó gran atención a los complicados procesos de metamorfosis que se producen en las larvas de muchos animales acuáticos.

Dentro de la enorme variedad que ofrecen los invertebrados en su desarrollo, Kovalevski supo encontrar y mostrar los *caracteres generales,* revelar los fundamentos de cuanto es común en dicho desarrollo a todos los grupos animales, sin excepción.

En todos los animales que analiza, encuentra Kovalevski que el modo de formarse las hojas embrionarias es igual, así como las fases iniciales larvarias de la blástula y la gástrula, y que en algunos casos son idénticos los procesos organogenéticos (por ejemplo, la constitución del sistema nervioso a partir del ectodermo).

Sus trabajos le condujeron a una conclusión de gran trascendencia: *el modo de desarrollo de todos los grupos del reino animal —vertebrados e invertebrados— es único y general en su principio.*

Basándose en el estudio de un abundante material embriológico, Kovalevski demostró la certeza del principio fundamental de la teoría evolucionista, *la unidad de origen del reino animal.*

Los trabajos de Kovalevski eran siempre muy completos y se caracterizaban por su gran exactitud; nadie pudo refutar nunca ninguno de sus descubrimientos, cada trabajo era consecuencia del anterior.

Los numerosos datos obtenidos por Kovalevski fueron tenidos en cuenta en las conclusiones teóricas a que luego habían de llegar otros investigadores, entre ellos Haeckel.

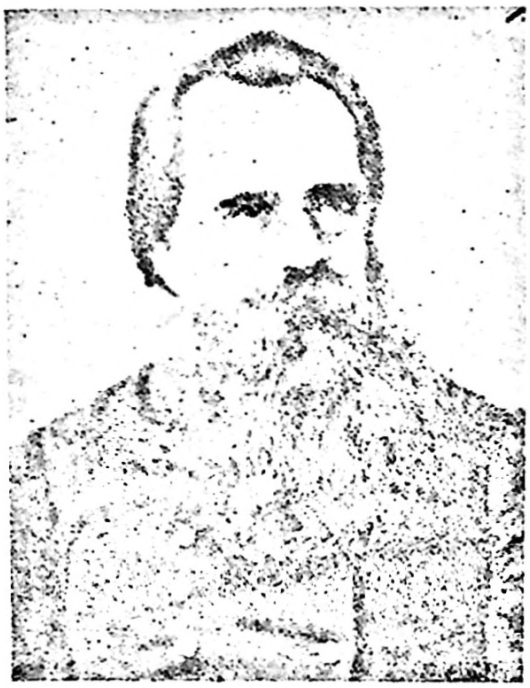
Los trabajos de Kovalevski se convirtieron en la piedra angular de la Embriología comparada y sirvieron de estímulo para nuevas investigaciones en este terreno.

Otro genio y creador también de la Embriología comparada moderna, la Anatomía y la Zoología fue *Iliá Ilich Méchnikov* (1845-1916), amigo de Kovalevski. Los trabajos de ambos se desarrollaron paralelamente durante muchos años, complementándose en numerosos casos y constituyendo un conjunto armónico.

Méchnikov aceptó con espíritu crítico la teoría de Darwin, y la aplicó de modo consecuente, mostrando palmariamente su utilidad para todas las ramas de la Biología a que dedicó sus trabajos .

Los brillantes descubrimientos de Méchnikov y las conclusiones a que llegó fueron el comienzo de una serie de corrientes progresistas en la Biología y encontraron gran aplicación en la Medicina práctica y teórica. Plenamente convencido como estaba del valor de la Embriología en cuanto a la explicación de la filogenia de los animales, buscó la clave para compren-

[1] La cita pertenece al artículo *A. O. Kovalevski,* de la obra *Científicos rusos,* Ogiz, Moscú-Leningrado, 1948, t. II, pág. 708.



A. O. Kovalevski.

I. I. Méchnikov.

der la evolución y el origen de los seres vivos en las etapas tempranas de desarrollo, cuando las formas de los animales son las más simples y están menos modificadas bajo la influencia de las condiciones externas. Méchnikov comprobó que los invertebrados poseen en el período de su desarrollo embrionario *tres hojas embrionarias* (lo mismo que los vertebrados).

Demostró que *cualquier invertebrado se desarrolla estructuralmente lo mismo que las aves y los mamíferos,* es decir, que los animales inferiores poseen en su primer período las mismas hojas embrionarias con las mismas propiedades, en general, que los vertebrados; a partir de estas hojas se forman los órganos siguiendo el mismo principio que en las aves y los mamíferos.

Estos hechos demostraban la unidad de desarrollo de todos los animales, que se rige por una ley común.

Méchnikov estudió el desarrollo de los equinodermos, esponjas, celentéreos e insectos y demostró la sucesión genética de los diferentes grupos del reino animal.

A Méchnikov le fue otorgado, junto con Kovalevski, el premio Ber, que se concedía a los autores de valiosos trabajos en Embriología.

Entre las investigaciones embriológicas de Méchnikov, lo que le dio mayor renombre fue su estudio de las esponjas y medusas, es decir, de los animales pluricelulares inferiores.

Con estas formas están relacionadas las síntesis teóricas más importantes hechas por Méchnikov, muy fecundas, sobre todo, en su aplicación a la Medicina, como veremos más adelante.

En esta época Méchnikov obtuvo una serie de resultados que demuestran el origen de los organismos pluricelulares a partir de los unicelulares, mediante la diferenciación de las formas que viven en colonias. Basándose en el estudio del desarrollo de las esponjas y medusas, Méchnikov enuncia su teoría sobre el origen de las formas pluricelulares, la *teoría del parenquímula.*

Debido a la ausencia de cavidad gastrular en las larvas de las esponjas (parenquímulas), las funciones digestivas corren a cargo de las células del parénquima. Se apoderan de los alimentos a semejanza de las amibas.

Méchnikov demostró que en algunos turbelarios (*Acoela*), que carecen de intestino, la comida pasa directamente de la boca a una masa celular poco compacta, el parénquima digestivo, que es donde se realiza la digestión. Es la llamada *digestión endocelular*.

Según demostró Méchnikov, la digestión endocelular es propia de las células de muchos invertebrados (que disponen al mismo tiempo de cavidades gástricas); en muchos animales descubrió también que poseen esta facultad las células emigrantes del parénquima, a las que llamó *fagocitos* o devoradores.

El fenómeno de la fagocitosis, descubierto por Méchnikov, marcó un viraje en toda su actividad científica. Le permitió crear dos ramas completamente nuevas en Biología y Medicina, la *Patología comparada* y la *Zoología experimental*.

Mediante un brillante y, al mismo tiempo, sencillísimo experimento, demostró Méchnikov que el *fenómeno de la fagocitosis constituye una función protectora del organismo*. Introdujo en el cuerpo de la larva de una estrella de mar diferentes partículas sólidas extrañas, entre otras, espinas de rosas. Estas partículas acabaron siendo rodeadas por fagocitos amiboideos que o bien las digerían, o las envolvían y las aislaban de las restantes células del organismo.

Las observaciones demostraron que el fenómeno de la fagocitosis se realiza en todos los tipos de animales que poseen tejidos mesodérmicos, es decir, tejidos procedentes de la tercera hoja embrionaria, el mesodermo.

En los animales de organización superior forman parte de estos tejidos, entre otros, la *sangre* y el *tejido conjuntivo*, en cuya composición entran elementos celulares capaces de fagocitar las partículas capturadas (por ejemplo, los microbios, entre los cuales puede haberlos patógenos).

Aplicando el método biológico comparativo y las ideas del darvinismo, pudo Méchnikov crear una teoría fagocitaria completa, que proporcionó nuevos horizontes a la Patología y la Microbiología.

A partir de 1883, Méchnikov se dedicó casi por completo a la teoría de la fagocitosis y a su aplicación en el estudio de las enfermedades infecciosas y sus agentes, los microbios patógenos.

Con ayuda del principio evolutivo y del método comparativo, logró mostrar Méchnikov que la digestión endocelular de los animales unicelulares inferiores es una digestión corriente, que no realiza aún las funciones protectoras; al complicarse la organización, la fagocitosis se convierte, incluso en los animales unicelulares, no sólo en función nutritiva, sino también defensiva. La reabsorción de tejidos en los procesos de atrofia (por ejemplo, la atrofia de diferentes órganos larvales en las formas adultas) es también una fagocitosis, ya que las células del tejido conjuntivo devoran partes de otros tejidos que son innecesarias al propio organismo. Los *fenómenos de fagocitosis en las inflamaciones e infecciones los consideraba como derivados de la función nutritiva principal*, que se desarrollaron y complicaron en el largo proceso evolutivo. Méchnikov llegó casi a descubrir la naturaleza de las inflamaciones y de la inmunidad.

Basándose en el método biológico comparativo, Méchnikov se entregó al estudio de los procesos patológicos en los animales inferiores, en los que

todos los fenómenos están representados de una forma más elemental y su observación resulta más fácil; después pasó a los organismos más complicados, en los que logró poner en claro las formas en que se presentan y complican estos procesos. Las investigaciones de Méchnikov acerca de las inflamaciones permiten llegar a las siguientes conclusiones fundamentales:

1. La reacción inflamatoria es un fenómeno de adaptación; al inflamarse, el organismo expulsa las sustancias extrañas o los agentes de la infección.

2. En los organismos unicelulares y pluricelulares inferiores, que tienen poco diferenciados los tejidos, la reacción protectora coincide con la reacción digestiva endocelular.

3. En los animales superiores, la función fagocitaria es independiente y característica de las células mesodérmicas, fundamentalmente de los glóbulos blancos de la sangre, los leucocitos (los primeros rasgos de individualización de la función fagocitaria aparecen en las esponjas).

4. Cuanto más enérgica es la actividad de los leucocitos que destruyen los microbios patógenos, mayor éxito alcanza la lucha del organismo contra la enfermedad; cuanto más débil es la reacción fagocitaria, más dudoso es para el organismo el resultado de la inflamación.

Estos puntos básicos de Méchnikov sobre la inflamación fueron después considerablemente ampliados en trabajos posteriores. Se comprobó, por ejemplo, que la fagocitosis de los leucocitos no es más que uno de los factores del proceso inflamatorio; no menos importantes son los factores humoral y neural.

En el proceso de la selección natural y la evolución del reino animal, cambiaron las formas y las funciones de los órganos, así como las formas de reaccionar el organismo a las influencias patógenas; variaron también estas influencias (evolución de los microbios). Los medios de defensa y las formas de reacción de los organismos contra los agentes patógenos, que se observan en el hombre y en los animales superiores, son resultado de una larga evolución.

Méchnikov llegó a la conclusión de que para conocer la esencia de las diferentes reacciones del organismo humano hay que saber cómo se desarrollaron históricamente; esta es la orientación que dio a todas sus investigaciones.

Para confirmar la veracidad de su teoría, Méchnikov estudió los *casos de inmunidad frente a las enfermedades infecciosas, demostrando que también en ello corresponde un importante papel a la fagocitosis.* Comenzó a estudiar, desde el punto de vista de su teoría fagocitaria, diferentes infecciones, tales como la tuberculosis, la sífilis, el tifus, el cólera, la peste, etc., llegando así a la teoría de la inmunidad.

Las ideas de Méchnikov (*Resistencia a las enfermedades infecciosas*, 1901) constituyen el elemento fundamental de la teoría contemporánea de la inmunidad.

Las conclusiones teóricas de Méchnikov, según las cuales los fenómenos patológicos no son independientes de las propiedades fisiológicas normales y de las manifestaciones del organismo, han servido de base firme para eliminar de la Medicina los elementos de la metafísica y la escolástica.

La teoría de la fagocitosis y el concepto evolutivo han sido el fundamento de la teoría de la vejez, desarrollada por Méchnikov (véase pág. 139).

En todos sus trabajos muestra la enorme importancia del darvinismo en el estudio del mundo orgánico y propone reconstruir todas las partes de la Biología basándose en la teoría evolutiva.

En su artículo *El darvinismo y la Medicina* destacó Méchnikov el favorable influjo que en la Medicina tuvo la teoría evolutiva, gracias a la cual los problemas relativos a la sífilis, las inflamaciones, etc., se resolvieron. Por su parte, la Medicina enriqueció al darvinismo: por ejemplo, la herencia de los caracteres adquiridos se ha visto demostrada en los trabajos realizados con las bacterias de la fiebre esplénica (cepas no virulentas de microbios como resultado de su trasplante).

A. N. Sévertsov.

Méchnikov consideraba de gran importancia para el darvinismo la prueba del hecho mismo de la evolución, explicar desde un punto de vista materialista el carácter multifacético de las formas vivas y la adecuación del organismo al fin sobre la base de la selección natural. Lo fundamental de la teoría darvinista era para él la idea del papel creador de la selección natural.

Méchnikov hizo deducciones consecuentes a la solución materialista de la adaptación orgánica, y por eso fue un *ateo* convencido, que consideraba la ciencia incompatible con la religión.

La doctrina de Darwin no era para él un dogma, y partiendo de su esencia superaba las insuficiencias y las partes débiles de esta teoría.

Las ideas científicas y las teorías de Méchnikov continúan siendo hoy día las que marcan la pauta en distintas esferas de las ciencias naturales; su método biológico comparativo ha abierto ante la Medicina una amplia senda para llegar a comprender diferentes procesos que tienen lugar en el organismo sano y enfermo.

Kovalevski, Méchnikov y otros morfólogos realizaron sus investigaciones sobre animales invertebrados.

Alexei Nikoláevich Sévertsov (1866-1936) y la numerosa escuela creada por él investigaron el desarrollo de los *vertebrados*.

Los precursores de Sévertsov estudiaron principalmente las fases tempranas de la embriogenia; Sévertsov y su escuela concentraron su atención sobre las fases avanzadas del desarrollo embrionario, sobre la organogenia. Sus investigaciones se concentraban sobre los tipos de desarrollo de los órganos y las leyes relacionadas con las variaciones estructurales de estos órganos en la ontogénesis y en el desarrollo filogenético de diferentes animales. Estudiaron la evolución de los distintos órganos en la mayoría de los grupos de vertebrados inferiores: lampreas, escualos, esturiones y acantopterigios, anfibios y reptiles.

El período culminante de la actividad científica de Sévertsov coincidió con la época en que mayor aceptación tenían las teorías autogenéticas, que

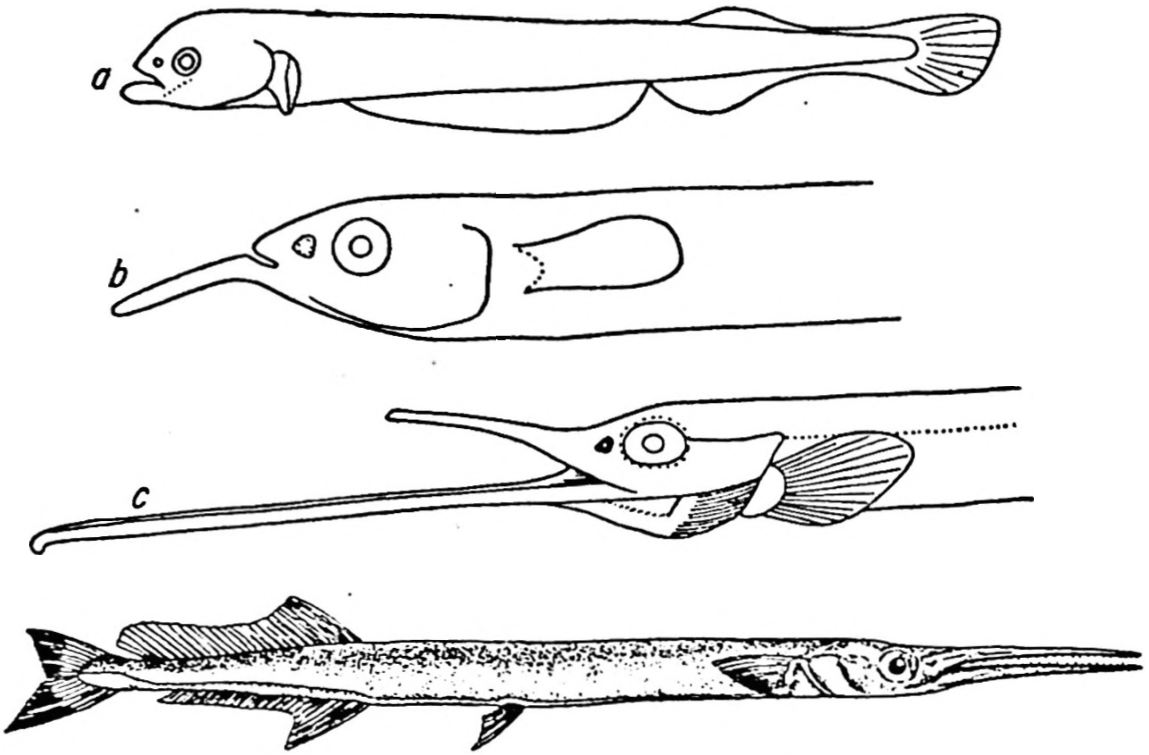


FIG. 337. Orfia adulta y sus fases de desarrollo (*a*, *b*, *c*).

representaban una ofensiva contra el darvinismo. Hay que reconocer, en honor de Sévertsov, que en sus investigaciones embriológicas y de Anatomía comparada permaneció fiel al estudio de los problemas de la evolución. Llegó incluso a polemizar con los defensores de las reaccionarias corrientes autogenéticas. Sin embargo, en sus investigaciones, Sévertsov eludió los problemas generales de la evolución, limitándose únicamente a estudiar los caminos que sigue el proceso evolutivo. Sin embargo, no es posible dar una explicación acertada a las leyes morfológicas de la evolución al margen de las cuestiones generales relativas a las causas y leyes del proceso evolutivo.

El enorme material reunido por Sévertsov permitía analizar los cambios embriológicos de los órganos y establecer algunos tipos de órganos rudimentarios, que han variado en el proceso de la evolución.

Estas investigaciones constituyen la base de su teoría de la *filoembriogénesis*.

Según esta teoría, la ontogénesis no sólo lleva en sí los rasgos del desarrollo filogenético, sino que es también la *etapa en que surgen nuevas propiedades, que se conservan en el estado adulto.*

Los cambios, aparecidos en el período embrionario y que se incorporan al desarrollo del ser adulto, pueden, gracias a la herencia, incluirse en la filogenia; estos cambios los llamó Sévertsov filoembriogenéticos. Estos pueden presentarse, según Sévertsov, *en cualquier fase del desarrollo embrionario*. Si el cambio tiene lugar al final del desarrollo embrionario, ofrecerá el carácter de un *complemento* a los rasgos embrionarios de los antecesores, o un *anabolismo* (del griego *alargo*). Con semejante tipo de variación de los órganos, en el desarrollo embrionario se repiten los caracteres de los antecesores, es decir, *sigue en pie la ley biogenética*. El ser adulto

se asemejará a su antecesor, pero además poseerá un carácter nuevo. En las generaciones sucesivas puede tener lugar una acumulación de caracteres filoembriogenéticos que produzcan una notable desviación del tipo originario. Los cambios del tipo de anabolismo los considera Sévertsov la forma más frecuente de variación de los órganos. Ejemplo de ello son el alargamiento de las mandíbulas del pez orfia (*Belone vulgaris*, fig. 337), la forma curva del pico del pájaro piquituerto, etc.

Los cambios ocurridos en las fases *intermedias* de desarrollo, *desviaciones, dan lugar a que se repitan parcialmente los caracteres de los antecesores,* en la ontogénesis, antes de que comience la filoembriogénesis. El cambio de las fases primeras de la embriogenia, *arcalaxis,* orienta el desarrollo por un nuevo camino, modificándolo completamente; *en este caso se elimina totalmente la recapitulación*[1] *de los rasgos de los antecesores.*

Las tres formas en que se manifiestan los caracteres filoembriogenéticos pueden observarse en el esquema que representa el desarrollo de los derivados cutáneos de los vertebrados (fig. 338).

Las escamas placoideas de los escualos se desarrollan por multiplicación de las células de la epidermis, formándose un abultamiento en el que penetra el dentículo de la dermis que origina la dentina de la escama. Las escamas de los reptiles se desarrollan al principio de modo semejante a las escamas placoideas de los peces, pero después adquieren nuevos caracteres (la escama no se forma a expensas de los procesos que tienen lugar en la dermis, sino como resultado de la queratinización de la epidermis). Ello se realiza en las etapas intermedias de desarrollo; se trata, por tanto, de un fenómeno de desviación.

Las plumas de las aves comienzan a desarrollarse como las escamas de los reptiles, pero en las últimas fases de desarrollo embrionario surge una nueva formación que da lugar a la pluma; es un fenómeno de anabolismo. Por último, el pelo de los mamíferos, que ya a partir de las fases tempranas de la embriogenia cambia la dirección del desarrollo (las células epidérmicas que se reproducen se adentran en el corium), a consecuencia de lo cual falta por completo el proceso de recapitulación; se trata de una arcalaxis.

Sévertsov distingue también las filoembriogénesis negativas, las cuales se pueden presentar, lo mismo que las positivas, en cualquier fase del desarrollo embrionario.

Están relacionadas con la detención en el desarrollo o la desaparición de determinadas fases del mismo en los órganos. Los procesos de degeneración y reducción de órganos van unidos a las filoembriogénesis negativas.

En su teoría sobre las filoembriogénesis, Sévertsov exageraba el papel de la variabilidad embrionaria en la historia del desarrollo del reino animal, limitando a ella toda la variabilidad formativa; lamentablemente no trató de descubrir las causas de esta variabilidad.

Sévertsov estudiaba el órgano de forma *compleja*, es decir, relacionándolo con sus funciones y según la Anatomía comparada; por ejemplo, en el estudio del esqueleto, los músculos y los nervios, tenía en cuenta las relaciones existentes entre ellos. Los datos de la Anatomía comparada los confrontaba con los de la Paleontología y la Embriología. Este método le condujo a una serie de conclusiones teóricas sobre la segmentación (metame-

[1] Recapitulación, repetición.

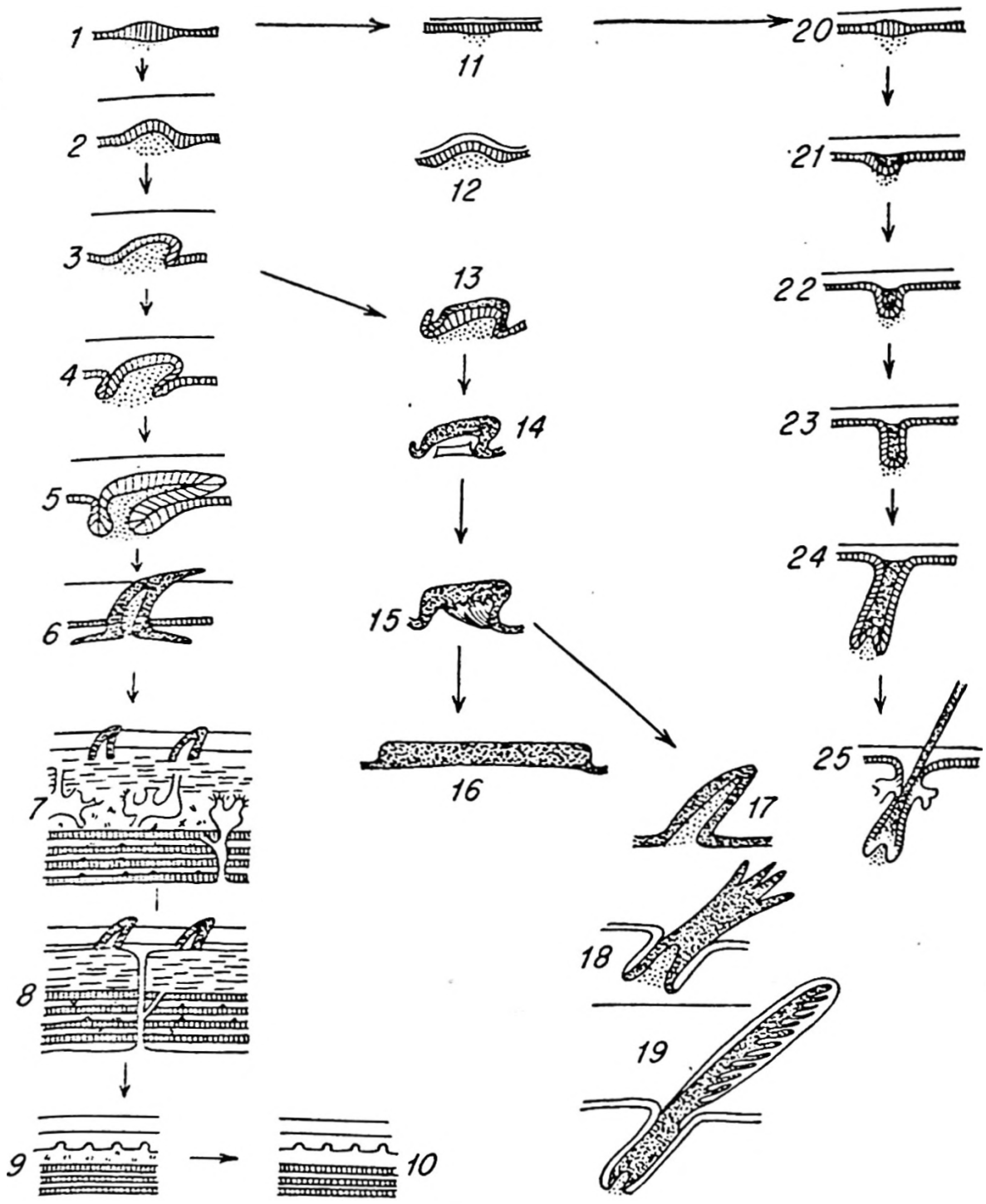


FIG. 338. Esquema de la evolución filogenética de las escamas, las plumas y el pelo de los vertebrados, según los datos del desarrollo embrionario: 1-6, desarrollo de las escamas placoideas del tiburón *Heptanchus;* 7, escama de *Polypterus;* 8, escama de *Lepidosterus;* 9, escama de *Amia;* 10, escama de un acantopterigio; 11-15, desarrollo embrionario de una escama córnea de lagartija; 16, transformación de la escama córnea en el escudete córneo de las serpientes; 17-19, desarrollo embrionario de la pluma de un ave; 20-25, desarrollo embrionario del pelo.

ría) de la cabeza y el cráneo de los peces, anfibios y reptiles, y sobre el origen de la extremidad pentadáctila de los mamíferos terrestres a partir de la aleta septirradial de los peces.

Los trabajos de Sévertsov sobre la metamería de la cabeza en los vertebrados daban solución al problema del parecido en las primeras fases de desarrollo de los vertebrados, es decir, *confirmaban una vez más la unidad de origen del reino animal.*

Sévertsov restableció, basándose en las investigaciones de la Embriología comparada, los rasgos característicos de los primeros antecesores de los vertebrados, los acranios.

Numerosos trabajos de Sévertsov versan sobre las leyes morfológicas de la evolución. Es también el autor de la *teoría de las direcciones principales del proceso evolutivo,* que aseguran el progreso biológico. Llamaba progreso biológico al *estado de expansión de la especie.* Los índices objetivos de esta expansión son: 1) el aumento del número de individuos; 2) la diseminación progresiva y la ocupación de nuevas áreas; 3) la diferenciación, bajo la influencia de nuevas condiciones de existencia, en unidades sistemáticas subordinadas (variedades, grupos, etc.).

El concepto opuesto al de progreso biológico es el de *regresión biológica,* que conduce a la *extinción* del grupo sistemático.

La condición fundamental del progreso biológico es el aumento cuantitativo de la especie. De aquí se desprende la diseminación y, en relación con ella, la formación de nuevos grupos sistemáticos, es decir, la evolución.

Sévertsov señalaba la importancia de la fecundidad para la conservación y expansión de la especie, pues crea una reserva necesaria en las oscilaciones abióticas y bióticas del medio.

Sévertsov interpretaba el progreso biológico en una forma muy amplia; este concepto incluye el *progreso morfológico;* de ordinario se combina con él, aunque a veces pueden contradecirse uno y otro, ya que una forma en expansión, biológicamente perfecta, puede estar *simplificada* desde el punto de vista morfológico.

Mostró claramente que el progreso morfológico desempeña una función subordinada con respecto al progreso biológico, ya que sólo es un caso particular del concepto más amplio que éste representa. Sévertsov señaló los siguientes caminos de progreso biológico:

1. *Aromorfosis* (del griego *levanto*). Consiste en un cambio de la organización de las funciones del animal, que produce una elevación general de la organización, relacionada con el aumento de la energía y la actividad vital del organismo. Las aromorfosis constituyen puntos cardinales de la evolución, que dan lugar a un ascenso en el grado de organización; es así como se forman grupos progresivos nuevos del reino animal (tipos y clases).

2. *Idioadaptación* (del latín *idios,* peculiar). Es un cambio de adaptación a las nuevas condiciones de existencia que experimentan algunos grupos. Este cambio tiene un carácter más particular y hace que las formas afectadas se adapten mejor y sobrevivan con mayor facilidad; sin embargo, su grado de organización, su energía y su actividad vital se mantienen al mismo nivel.

3. *Cenogénesis.* Es un cambio de adaptación de los embriones o las larvas de los animales en el que no se eleva el nivel de organización y actividad vital, pero sí aumenta el número de individuos que alcanzan el estado

adulto, a consecuencia de una mejor adaptación a las condiciones de vida en las fases tempranas de la ontogénesis.

4. *Degeneración total.* Se llama así a las variaciones de adaptación en las que la organización se simplifica y se reducen las funciones activas del organismo.

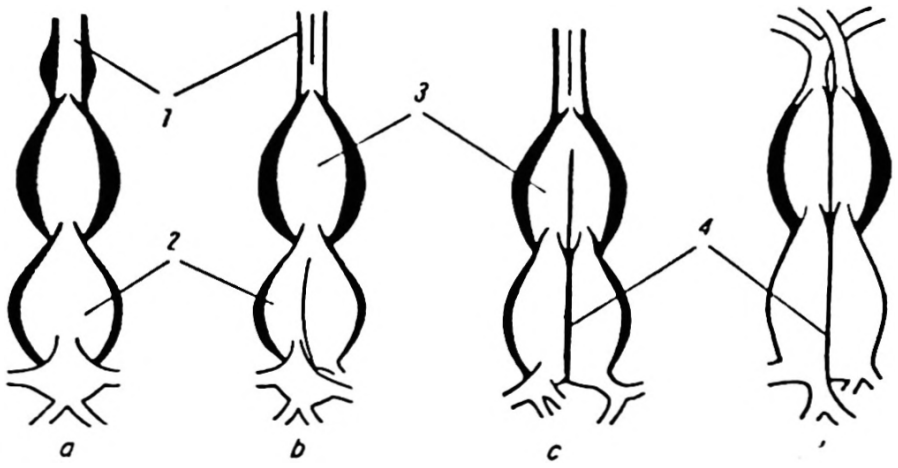


FIG. 339. Ejemplo típico de evolución de un órgano mediante aromorfosis: *a*, corazón de los peces, constituido de tres cavidades; *b*, formación en los anfibios del corazón de tres cavidades; la aurícula (2) comienza a dividirse en dos partes mediante un tabique incompleto aún; *c*, comienza a formarse en los reptiles el corazón de cuatro cavidades; las aurículas están ya totalmente separadas por el tabique, el ventrículo (3) aún no se ha dividido totalmente; *d*, corazón de cuatro cavidades de las aves y los mamíferos; un tabique ha dividido por completo las aurículas y los ventrículos en las mitades izquierda y derecha: 1, aorta; 2, aurículas; 3, ventrículos; 4, tabique.

La aromorfosis desempeña un importantísimo papel en el proceso evolutivo. Al elevar la energía total del organismo, su utilidad no se reduce a un número limitado de cambios del medio exterior, sino que es extensiva a un gran número de ellos, lo cual permite al organismo subsistir en condiciones muy variables, independizándole más de las fluctuaciones del medio. Sévertsov subrayó que todas las aromorfosis están relacionadas con una intensificación del metabolismo. Destaca en primer lugar los caracteres que aseguran la nutrición o aquellos que influyen en ella indirectamente. Un ejemplo clásico de aromorfosis, que ofrece Sévertsov, es la evolución del corazón en los vertebrados; los cambios producidos aumentaron la cantidad de sangre oxigenada que afluye a los órganos del cuerpo.

Son ejemplo de aromorfosis: la aparición de mandíbulas, aletas y de vejiga natatoria en las formas primitivas de peces; la formación en los mamíferos del sistema piloso del cuerpo, que protege al organismo contra las pérdidas de calor; el desarrollo de los hemisferios cerebrales, relacionado con la evolución de la actividad nerviosa superior, etc.

Todo lo que independiza al individuo de las fluctuaciones del medio y amplía las posibilidades de desarrollo de la especie está relacionado con las aromorfosis. Uno de los rasgos más importantes de la aromorfosis es el de que posibilita el desarrollo de las variaciones progresivas ulteriores.

Sévertsov señalaba que entre las aromorfosis consecutivas de las formas que se desarrollan progresivamente transcurren con frecuencia grandes in-

tervalos de tiempo en los que no se observa un aumento de la organización, es decir, que el *proceso evolutivo se realiza escalonada y discontinuamente.* Los períodos de ascenso de la organización se alternan con otros en los que no se observan variaciones morfológicas progresivas. Eso no quiere decir que en dichos períodos se interrumpa por completo el proceso evolutivo y no haya ningún cambio en la organización de los animales. Al contrario,

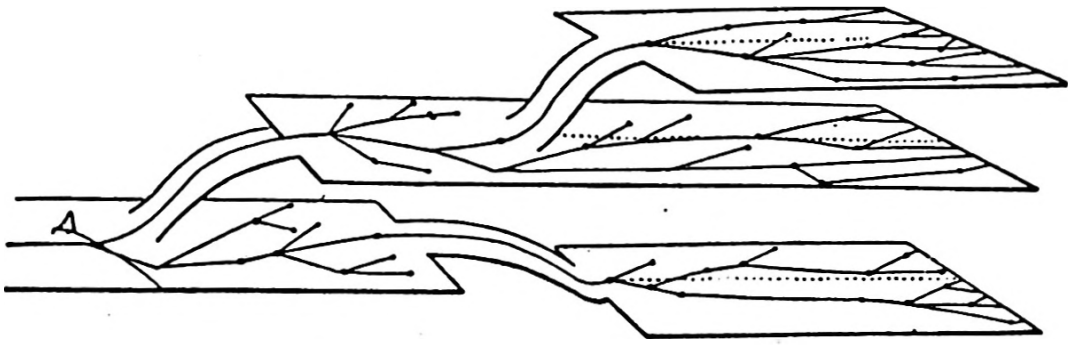


FIG. 340. Esquema de los caminos que sigue el progreso biológico, según A. N. Sévertsov.

en los intervalos entre los períodos de aromorfosis varía notablemente la organización, pero se trata de cambios de idioadaptación. Por lo tanto, en el desarrollo histórico del reino animal, todo cambio de dirección en el proceso biológico se logra por medio de *saltos* (fig. 340).

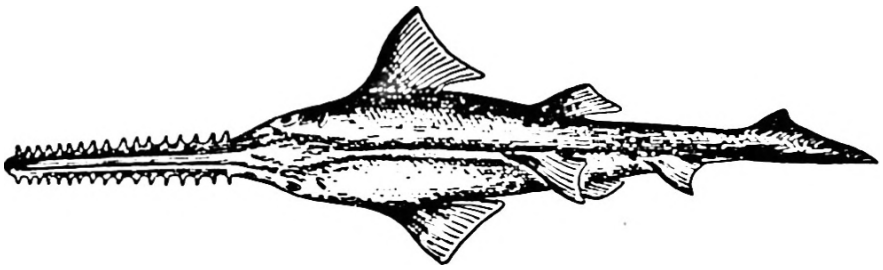


FIG. 341. Pez sierra (*Pristis perrototi.*).

Los animales, que experimentan numerosas variaciones de adaptación, se van diferenciando notablemente en sus caracteres, por lo que un determinado grupo sistemático progresivo se subdivide en numerosos grupos, que conservan todos los caracteres aromórficos, pero en los cuales aparecen nuevos caracteres de adaptación. A título de ejemplo cita Sévertsov los escualos, En la actualidad se han detenido en su aromorfosis, pero en su embriogenia adquirieron determinados caracteres que les permiten competir con los acantopterigios, que son peces de organización más elevada. Sin embargo, no se ha detenido ahí el proceso evolutivo: ejemplo de casos particulares de idioadaptación los ofrecen el pez sierra, el pez martillo, etc. (figs. 341 y 342)

Un ejemplo de idioadaptación son los dispositivos que poseen distintos animales para nadar y correr.

La *especialización* es un caso particular de idioadaptación; es la adaptación a un determinado modo de vida, a la nutrición con una comida fija,

a la vida en determinadas condiciones, imposibles para otras especies de animales.

Ejemplos característicos de especialización los ofrece la fauna abismal y cavernícola.

El desarrollo que se realiza mediante la adquisición de *rasgos cenogenéticos,* es decir, de las diferentes especies de membranas que protegen el em-

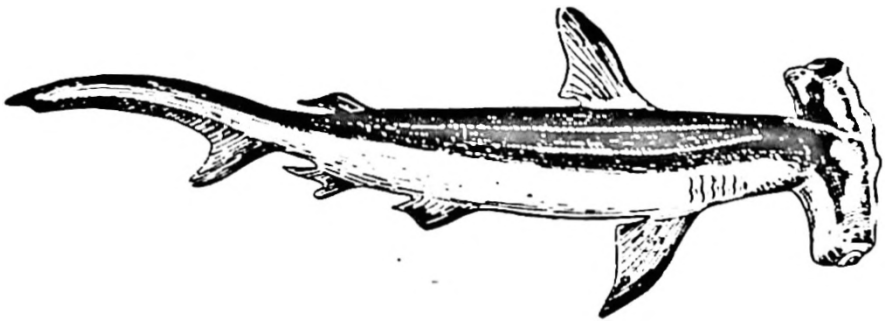


FIG. 342. Pez martillo (*Sphyrna zygaena L.*).

brión contra los daños mecánicos y las acciones químicas, la adquisición de reservas de plasma nutritivo, de mecanismos adhesivos, etc., de los que no quedan vestigios en el organismo adulto, tiene, sin embargo, una gran importancia biológica. La cenogénesis permite a los embriones, y después a las larvas, superar con las menores pérdidas el período más peligroso, cuando están completamente desamparados. Entre los animales que han adquirido caracteres cenogenéticos, el número de individuos que alcanzan la edad adulta es mayor que en sus antecesores. Eso hace que la especie aumente numéricamente, lo que asegura a su vez la aparición de nuevas idioadaptaciones, que dan origen a nuevas formas.

El cuarto camino de progreso biológico. *que va acompañado de la degeneración morfológica,* puede originar, según demuestran las investigaciones filogenéticas, un desarrollo biológico progresivo. Animales que habían degenerado y perdido los órganos de la vida activa (órganos de movimiento, de los sentidos, intestino, etc.) siguieron su expansión: aumentaron en número, ampliaron el área de extensión y dieron numerosas agrupaciones sistemáticas: son ejemplo de ello las formas parásitas y fijas (céstodos, tremátodos, pogonópodos, etc.). En la evolución regresiva de la mayoría de los órganos de la vida activa tiene lugar un desarrollo progresivo del sistema sexual y se adquieren numerosas estructuras cenogenéticas. Sería más acertado decir que el rasgo más característico del desarrollo de las formas degenerantes lo constituye precisamente el desarrollo progresivo del sistema sexual, de cenogenosis y de los órganos de protección pasiva, ya que, a pesar de que lo que salta a la vista es la atrofia de muchos órganos, ello no representa más que un fenómeno de segundo grado.

Después de establecer las principales líneas del proceso evolutivo en el reino animal, Sévertsov trató también de hallar los *modos* con ayuda de los cuales tiene lugar la variación de los órganos en su desarrollo evolutivo. Así estableció una serie de modos o "principios" de modificaciones de los órganos, de acuerdo con los cambios de sus funciones.

A pesar de la interpretación tan limitada que Sévertsov da a los problemas evolutivos, el enorme material que logró reunir tiene un extraor-

dinario valor. El estudio complejo de las formas de desarrollo evolutivo, empleando los métodos de investigaciones anatomo-comparativas y embriológicas y los datos que ofrece la Paleontología, le permitieron resolver un problema de trascendental importancia, como es el de la evolución de los vertebrados inferiores, desde los antecesores de los cordados hasta los cuadrúpedos terrestres (fig. 343). El estudio de esta etapa de desarrollo de los vertebrados ofrecía las mayores dificultades.

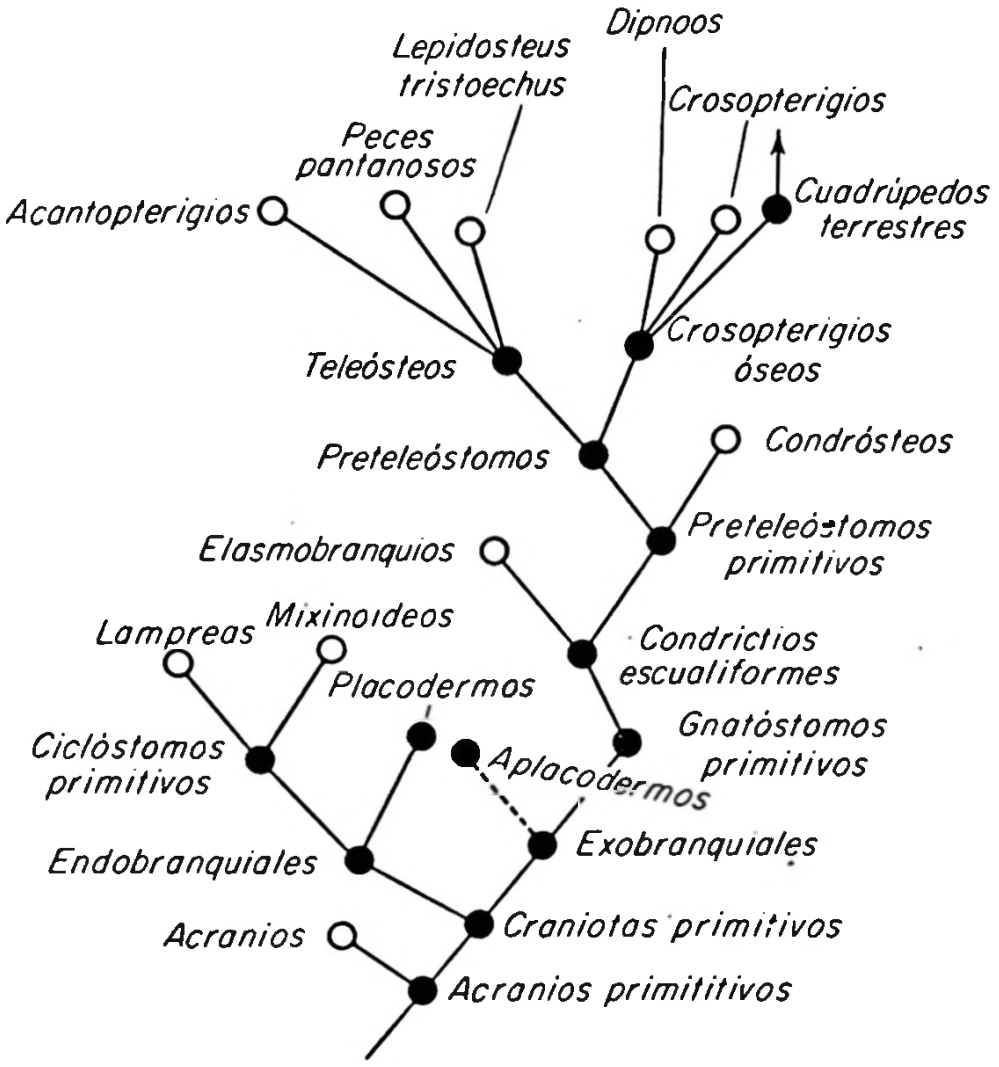


FIG. 343. Arbol genealógico de los vertebrados acuáticos, según A. N. Sévertsov.

El legado científico de Sévertsov exige nuevos estudios sobre la base de la teoría biológica michurinista.

El comienzo de una nueva época en Paleontología está relacionado con el nombre del eminente investigador darvinista ruso *Vladimir Onúfrievich Kovalevski* (1842-1883). La corriente evolutiva abría a la Paleontología amplios horizontes y planteaba nuevas tareas: estudiar las sucesivas formas genéticamente relacionadas y que originan en su totalidad el árbol de desarrollo del mundo orgánico. Tratábase no sólo de reconstruir la forma de tal o cual animal desaparecido, sino de estudiarlo en relación con el medio

físico y biótico que lo rodeaba. La nueva corriente, de la que es padre Kovalevski, recibió el nombre de *Paleobiología.*

Kovalevski fue el primero en recurrir en Paleontología al método *histórico-comparativo.* El estudio comparado de una serie de formas sucesivas, es decir, de su historia, confirmaba en forma incontrovertible la evolución. El método de la investigación histórica permitía establecer las *ramas filogenéticas* del reino animal.

Kovalevski demostró que, a pesar de la enorme variedad externa de formas de mamíferos. la estructura de su esqueleto ofrece un número reducido de tipos determinados, que dependen de su origen.

Kovalevski interpretaba la evolución como influencia de las condiciones exteriores en muchas generaciones, es decir, la transformación de las especies según las condiciones del medio y sus variaciones; en otras palabras, eran producto de la variabilidad que se prolonga a lo largo de las generaciones.

Esta idea de la dependencia entre el desarrollo evolutivo de los organismos y el medio y sus variaciones preside toda la obra de Kovalevski.

También expone la idea de la *monofilia,* el origen de las especies a partir de antecesores comunes y de un lugar común de origen para cada nueva forma. Kovalevski consideraba que, bajo la acción de la lucha por la existencia y de la selección natural, que utiliza cualquier ventaja de organización, algunos tipos se fueron alejando cada vez más en determinado sentido, es decir, que explicaba la diferenciación de caracteres *a partir de las condiciones de existencia* y de la selección natural. Según Kovalevski, los organismos pueden modificarse en distintos sentidos y el desarrollo del mundo orgánico puede ser representado en forma de un árbol ramificado.

Fue el primero en fijarse en la *importancia del desarrollo del cráneo en el proceso evolutivo.* Kovalevski comprendía que la Paleontología de su época estaba aún lejos de interpretar acertadamente el alcance y el papel del cráneo en la evolución del reino animal. Al estudiar la estructura de los dientes de los mamíferos (concretamente, los ungulados) y los cambios de esta estructura al producirse una nueva alimentación, la hierba, pudo mostrar cómo el cambio de alimento origina el cambio de los dientes y de la estructura del cráneo, a consecuencia de la masticación.

Kovalevski estudió el problema de la evolución *adaptativa y no adaptativa.*

La evolución adaptativa es la consecución de una mejor adecuación estructural de *todas* las partes de un órgano determinado a las nuevas condiciones de existencia.

La evolución no adaptativa es la variación de uno solo y no de todos los caracteres que aseguran una adaptación perfecta.

En la evolución no adaptativa, si la ventaja de la variación adecuada no supera otros cambios útiles para dicha forma, esta última sobrevivirá; de lo contrario, morirá.

La variación del modo de vida de los ungulados, a consecuencia de la formación de praderas en el Terciario, dio lugar al cambio de las funciones de las extremidades. Cada vez se fue reforzando más la función de los dos dedos medios, lo que produjo la atrofia de los restantes. Si el proceso de reducción de los dedos se hubiese traducido únicamente en su acortamiento, eso no habría mejorado la posición de los dedos medios, por lo

que a semejante variación se la habría podido llamar variación *no acomodada al fin*. Si la reducción va acompañada de un aumento de la superficie de apoyo para los dedos que se conservan, semejante variación tiene ya el carácter de variación *acomodada al fin*.

La concepción de Kovalevski sobre la evolución adaptativa y no adaptativa de las extremidades aclara todo el problema de la acomodación al fin y de la adaptabilidad.

Darwin situó el problema de la acomodación en el terreno materialista y Kovalevski lo resolvió. *La adaptación es siempre la relación activa del organismo respecto a sus condiciones de existencia, pero esta relación no siempre se acomoda al fin.*

Como ejemplo de evolución no adaptativa presenta Kovalevski el camello, el cual, a pesar de haberse convertido en rumiante, conserva la misma relación de dientes y huesos maxilares y craneanos de otros ungulados más primitivos; considera que el camello no desaparece gracias a la protección del hombre.

Por lo corriente, las especies de evolución no adaptativa no desaparecen de una vez; su área de extensión se va reduciendo poco a poco. Estas especies, que en lo sucesivo no se desarrollan, se conservan tan sólo en número reducido y en muy pocos lugares de la Tierra, que les son extremadamente favorables y están muy bien protegidos.

La idea expuesta por Kovalevski de las variaciones adaptativas y no adaptativas es un gran éxito de la teoría evolutiva. La Paleontología moderna la conoce con el nombre de *ley de Kovalevski*. Actualmente se aplica también a la filogenia de otros grupos de animales.

Kovalevski *fue el primero en explicar el progreso y la especialización como diferentes facetas del proceso evolutivo.*

Mostró que la reducción (simplificación) de las extremidades de los ungulados, hasta llegar al miembro monoaxónico del caballo, fue un fenómeno progresivo en la vida de los ungulados, pero no representó un perfeccionamiento de las extremidades en los mamíferos en general, es decir, que para la clase vino a constituir una variación regresiva. Por tanto, el esqueleto del caballo es un ejemplo de degradación en la clase de los mamíferos; pero si analizamos esta modificación desde el punto de vista del modo de vida específico de los ungulados, es un perfeccionamiento considerable.

"Por eso —decía Kovalevski—, el progreso es muy diferente para los distintos grupos de animales, según su modo de vida y sus necesidades; por ejemplo, el mayor progreso en el grupo de los ungulados consistirá en la mayor simplificación posible de las extremidades y la mayor complicación del aparato rumiador... En los carnívoros, al contrario, el progreso consistirá en la gran *complicación* de las extremidades, de modo que sirvan para correr y para agarrar las presas, y en la mayor *simplificación* posible del sistema dentario, simplificación que llega a una enorme disminución en el número de las muelas..."[1]

Kovalevski opone el progreso como elevación general de la organización a los fenómenos de adaptación a determinadas condiciones de existencia y a la especialización.

[1] V. O. Kovalevski, "Osteología de dos especies fósiles del grupo de los ungulados", *Boletín de la Sociedad de Aficionados a las Ciencias Naturales, la Antropología y la Etnografía*, XVI, nº 1, 1875, págs. 48-49.

V. O. Kovalevski.

P. P. Sushkin.

Por lo tanto, Kovalevski *no sólo amplió en sus trabajos la doctrina de Darwin, sino que mostró cómo hay que aplicar* el fundamento materialista de esta fecunda teoría para *explicar con acierto la historia del mundo orgánico.*

La prematura muerte impidió a Kovalevski dar cima a muchos de sus trabajos, pero en todos ellos, tanto en los que logró llevar a término como en los que no pudo finalizar, hay planteados muchos problemas que exigen aún para ser resueltos los esfuerzos de los paleontólogos contemporáneos.

Otros paleontólogos rusos profundizaron y ampliaron las ideas de Kovalevski. Lucharon contra la penetración de las teorías idealistas en la Paleontología y contra los intentos de revisar el darvinismo.

El paleontólogo americano *Cope* (1840-1897) desfiguró la teoría evolucionista y trató de revisar la doctrina de Darwin. Es característica de Cope su interpretación *mecanicista* de los procesos evolutivos. Era partidario de la teoría idealista según la cual la *conciencia fue anterior a la aparición de los organismos.* Cope consideraba el desarrollo de los organismos como el reflejo de los planes y designios del Creador.

Cope formuló una "ley" según la cual las formas altamente especializadas primitivas no pueden ser antecesoras de las formas actuales. Estas tienen su origen, según él, en antecesores no especializados, no adaptados.

Las formas especializadas primitivas desaparecieron, al no poderse adaptar a las nuevas condiciones. La evolución, considera Cope, es un proceso de especialización en aumento. La especialización, en cambio, hace que se pierda la facultad de variar y, por tanto, que se *amortigüe* la evolución. Según Cope, cada tipo de organismo tiene un determinado ciclo vital, pasado el cual el organismo degenera o muere. El ciclo vital de la especie o del tipo consta de tres fases: ascenso, expansión y decadencia. Estas fases las dirige la "energía vital", que lleva hacia el progreso, pero a ella se opone otra energía que conduce a la muerte, es decir, a la regresión.

Cope reunió gran cantidad de datos paleontológicos, pero sus conclusiones de orden teórico son falsas, idealistas. Trató de quitar importancia a la selección natural y a otros factores de la evolución. Él y sus continuadores opusieron a la interpretación darvinista del proceso evolutivo el fatalismo y la muerte inevitable del mundo orgánico.

En la lucha contra las ideas de Cope se destacó *P. P. Sushkin* (1868-1928). Sushkin hizo una brillante crítica de la teoría de Cope y se puso decididamente frente a la "ley" mecanicista de la irreversibilidad del proceso evolutivo, expuesta por el paleontólogo belga *Dollo,* continuador de Cope.

Sushkin demostró, basándose en gran cantidad de datos, que si admitimos *al pie de la letra* la irreversibilidad del proceso evolutivo en el sentido de Dollo, deberemos representarnos a nuestros antecesores como *esquemas,* en los que falta por completo la adaptación. Partía del principio de que, en cualquier momento de su vida, el individuo puede producir variaciones que constituirán la base de la marcha ulterior del desarrollo genético. Las variaciones que aparecen en la ontogénesis dan lugar a un nuevo carácter en el individuo adulto y se fijan en los descendientes.

Sushkin consideraba que determinados caracteres de los antecesores, desaparecidos de la estructura del animal adulto, pero que se conservaron en la embriogenia, pueden desarrollarse nuevamente. Cita el ejemplo del pingüino, cuyas extremidades posteriores son de estructura más primitiva que el resto del animal. Los datos paleontológicos demuestran que las formas fósiles del período terciario constituyen a modo de etapas en la evolución de las extremidades del pingüino: las anteriores perdieron poco a poco los rasgos primitivos, mientras que las posteriores variaron, recuperándolos.

El principio establecido por Sushkin de la reaparición de los caracteres estructurales primitivos representa un planteamiento nuevo del proceso filogenético, al mostrar que las formas antecesoras podían estar bien adaptadas, especializadas respecto a las condiciones de vida de su época. Esta especialización la perdieron en el proceso de la filogenia. La reaparición de un carácter depende de su utilidad y tiene lugar cuando aún existe, aunque sea en estado embrionario o reducido. El límite de la reaparición del carácter lo determina su total desaparición en la ontogénesis.

Sushkin llega a la conclusión de que, en condiciones favorables, es posible la reaparición de algunos caracteres primitivos. Las combinaciones de caracteres reaparecen con menos frecuencia. Sin embargo, Sushkin niega de plano la posibilidad de una vuelta total a la organización primitiva.

Los organismos que han vuelto al cabo de miles de años a las condiciones primitivas de vida no recuperan la organización que perdieron, sino que adquieren *nuevos* caracteres de adaptación. Ejemplo de ello son las formas acuáticas secundarias. Los mamíferos que se adaptaron a la vida en el agua han desarrollado aletas, que no son homólogas a las de los peces.

El desarrollo del reino animal va acompañado de *cambios cualitativos;* no se realiza en forma de círculo, sino *en hélice,* volviendo cada vez a la posición inicial sobre una base nueva.

CONCLUSIONES

1. La penetración del darvinismo en Rusia venía preparada por las ideas de los grandes demócratas revolucionarios y educadores rusos, así como por los trabajos de los naturalistas.

2. El primer puesto en la propaganda y la lucha por el darvinismo en Rusia le corresponde a K. A. Timiriázev.

3. Timiriázev descubrió las raíces políticas de la crisis en que se encontraba la Biología y criticó duramente las teorías autogenéticas de la herencia.

4. Las obras de los científicos rusos son la base del darvinismo creador soviético, que constituye la fase superior en el desarrollo de esta teoría.

5. Las ideas darvinistas asestaron en Fisiología un golpe decisivo al vitalismo. I. M. Séchenov mostró que todos los procesos nerviosos transcurren según el tipo de reflejos. La doctrina de I. P. Pávlov descubrió el camino que siguen los organismos animales en la ontogénesis y la filogenia para adaptarse al medio exterior.

6. A. O. Kovalevski e I. I. Méchnikov establecieron el tipo de desarrollo embrionario, común en principio a todo el reino animal, y reformaron la sistemática de los animales.

7. Las investigaciones complejas de A. N. Sévertsov permitieron resolver el problema del origen de los vertebrados superiores.

8. Basándose en el ejemplo de los ungulados, V. O. Kovalevski demostró la dependencia entre el desarrollo evolutivo de los animales y las variaciones del medio en que viven. Su teoría de la evolución adaptativa y no adaptativa explica las causas de la extinción de ciertos grupos de animales.

CAPITULO XV

ALGUNOS DATOS SOBRE LA FILOGENIA DE LOS VERTEBRADOS Y EL ORIGEN DEL HOMBRE

ERAS Y PERIODOS EN LA HISTORIA DE LA TIERRA

Ya Cuvier estableció en sus trabajos el cambio gradual y demostró que las formas de vida en la Tierra se fueron complicando desde los períodos geológicos más remotos hasta llegar a la época moderna. Actualmente se ha concretado aún más el tiempo en que existieron estos organismos. La antigüedad de los fósiles se determina por la edad de las rocas en que son descubiertos. La edad de las capas se determina según la radiactividad de los elementos que las integran. A su vez, algunos fósiles son tan característicos de uno u otro período geológico, que con razón se les denomina "index-fósiles"; su presencia permite juzgar acerca de la antigüedad de los terrenos.

Hoy día, la historia geológica de la corteza terrestre se divide en eras, períodos y épocas (véase el cuadro en las págs. 554-555).

Según nos muestra el cuadro, cada era, período y época se caracterizan por una flora y una fauna típicas.

La corteza terrestre ha experimentado en su historia grandes cambios, los cuales se deben a largos procesos en los que ha variado el clima y el relieve. Los restos fósiles de los organimos terrestres y marinos demuestran que tanto los continentes como el perfil de las costas han sufrido grandes modificaciones.

Entre los organismos de diferentes eras, períodos y épocas existe una relación de sucesión, aunque no siempre se lograba establecerla. El incompleto carácter de la historia geológica era una de las grandes dificultades con que tropezaba la teoría evolucionista de Darwin.

METODO TRIPLE DE INVESTIGACION DE LA FILOGENIA DE LOS ANIMALES

La aplicación con espíritu creador del principio evolucionista a las ciencias morfológicas, el empleo del *método triple de investigación*: anatómico-comparado, embriológico y paleontológico, y también la acumulación de datos por parte de la Ecología, la Zoogeografía y la Paleozoogeografía han permitido reconstruir el desarrollo histórico de muchas formas, establecer el grado de parentesco entre los grandes grupos sistemáticos y mostrar el carácter monofílico del proceso evolutivo.

En muchos casos se descubrieron fósiles de animales en capas separadas por períodos de tiempo relativamente cortos desde el punto de vista geológico. Ello permitió establecer para estos animales *series filogenéticas* bastante completas.

ERAS	PERIODOS	EPOCAS	DESARROLLO DE LA VIDA ORGANICA
Era arcaica, 900 millones de años.			Aparición de la vida. Bacterias, algas verdes, protozoarios, invertebrados inferiores.
Era proterozoica, 600 millones de años.			Bacterias y diferentes algas. Diferenciación de la mayoría de los grupos de invertebrados. Radiolarios, esponjas, moluscos, braquiópodos, xifosuros. Aparición de los cordados.
	Cámbrico, 80 millones de años.	Cámbrica inferior Cámbrica media Cámbrica superior	Abundancia de algas verdes. Primeras huellas de vegetación terrestre. Desarrollo máximo de los arqueocidáridos, braquiópodos inarticulados y trilobites primitivos. Foraminíferos, corales, moluscos bivalvos y cefalópodos, crustáceos y equinodermos.
Era paleozoica o primaria.	Silúrico 120 millones de años	Silúrica inferior (ordovícica) Silúrica superior (gothlandiana)	Predominan las algas. Plantas vasculares terrestres, psilofíticas. Abundancia de invertebrados marinos. Florecimiento de los graptolites, trilobites, xifosuros, equinodermos primitivos. Primeros artrópodos terrestres. Aparición (silúrico sup.) y desarrollo de los peces acorazados agnatos.
335 millones de años	Devónico, 55 millones de años	Devónica inferior Devónica media Devónica superior	Flora psilofítica, primeras equisetáceas, licopodíneas, helechos. Gran desarrollo de los tetracoralarios, braquiópodos, briozoarios, nautiloideos, equinodermos primitivos. Aparición de los ammonites. Primeros insectos. Desaparición de los peces acorazados (al final del período). Escualos, chimaeras, ganoideos primitivos. Aparición de los dipnoos, crosopterigios y anfibios (estegocéfalos).
	Carbonífero, 55 millones de años.	Carbonífera inferior Carbonífera media Carbonífera superior	Flora de licopodíneas arbóreas, equisetáceas (Calamites), helechos primitivos. Abundancia de ammonites y equinodermos primitivos. Desarrollo de los insectos. Primeros arácnidos. Muchos escualos, Chimaera y ganoideos primitivos. Aparición de los anfibios ápodos y anuros. Primeros reptiles.
	Pérmico, 25 millones de años	Pérmica inferior Pérmica superior	Desaparición de los calamites, las sigilarias, los helechos primitivos y los helechos espermófitos. Nuevos helechos y cordaites gimnospermos. Desaparición de numerosos invertebrados paleozoicos: Tetracoralia, briozoarios, braquiópodos, trilobites. Desarrollo de los ammonites y de los grupos primitivos de insectos (ortópteros, homópteros, etc.). Desarrollo de los reptiles teromorfos (cotilosauros, etc.).

ERAS	PERIODOS	EPOCAS	DESARROLLO DE LA VIDA ORGANICA
	Triásico, 30 millones de años	Trías inferior Trías media Trías superior	Desarrollo de las coníferas. Desaparición de las cordaites. Aparición de los hexacoralarios, belemnites, ammonites complejos. Desaparición de los estegocéfalos. Comienzo del desarrollo de los dinosauros. Reptiles con rasgos de mamíferos.
Era mesozoica o secundaria	Jurásico, 25 millones de años	Jurásica inferior Jurásica media Jurásica superior	Florecimiento de las coníferas, cicadofilicinas y bennettitinas. Máximo desarrollo de los belemnites, ammonites, equinodermos. Desarrollo de los dinosauros terrestres y acuáticos. Mamíferos primitivos, primeras aves.
125 millones de años	Cretácico, 70 millones de años	Cretácica inferior Cretácica superior	Numerosso helechos, coníferas, cicadofilicinas. Desarrollo de las antófitas. Extinción y desaparición de los ammonites y belemnites. Florecimiento de los ganoideos y desarrollo de los acantopterigios. Florecimiento y, al final del periodo, desaparición de los dinosaurios. Desaparición de los ictiosaurios, plesiosaurios y pterosaurios. Desarrollo y desaparición de las aves dentadas. Aparición y desarrollo de los mamíferos placentarios.
Era cenozoica o neozoica	Terciario | Paleógeno	Paleoceno, 8 millones de años Eoceno, 12 millones de años. Oligoceno, 12 millones de años	Intenso desarrollo de los verdaderos helechos y de las plantas antófitas, Diversidad de moluscos bivalvos y gasterópodos, de equinodermos superiores (estrellas de mar y erizos de mar). Florecimiento de los insectos, peces acantopterigios, aves y mamíferos. Aparición de las especies contemporáneas de muchas plantas superiores y animales (neógeno). Aparición de los más próximos precursores del hombre.
	59 millones de años | Neógeno	Mioceno, 16 millones de años Plioceno, 11 millones de años.	
60 millones de años	Cuaternario (antropógeno)	Pleistoceno (glaciar) 1 millón de años.	Flora y fauna próximas a las contemporáneas; aparición de las especies actuales. Aparición del hombre (comienzos del pleistoceno).
	1 millón de años aproximadamente.	Holoceno (tiempos actuales). 20.000 años.	Flora y fauna contemporáneas.

Se da el nombre de filogenética a la serie que proporciona una *continuidad de formas en la filogenia, tanto en lo que se refiere a los caracteres aislados* de cada representante de la serie *como al conjunto de estos caracteres.*

Un ejemplo de serie filogenética lo ofrecen las series de los antecesores del caballo, el elefante, el camello, etc.

Así vemos que el actual caballo monaxónico procede de un animal polidactilio, que tenía todos los dedos movibles. Paulatinamente, a través de la forma de tres dedos, análoga al *Anchitherium* y después al *Hipparion*, con el dedo medio muy desarrollado y en el que los huesos, a pesar de conservar aún su movilidad, la tenían muy limitada, evolucionaron los ungulados.

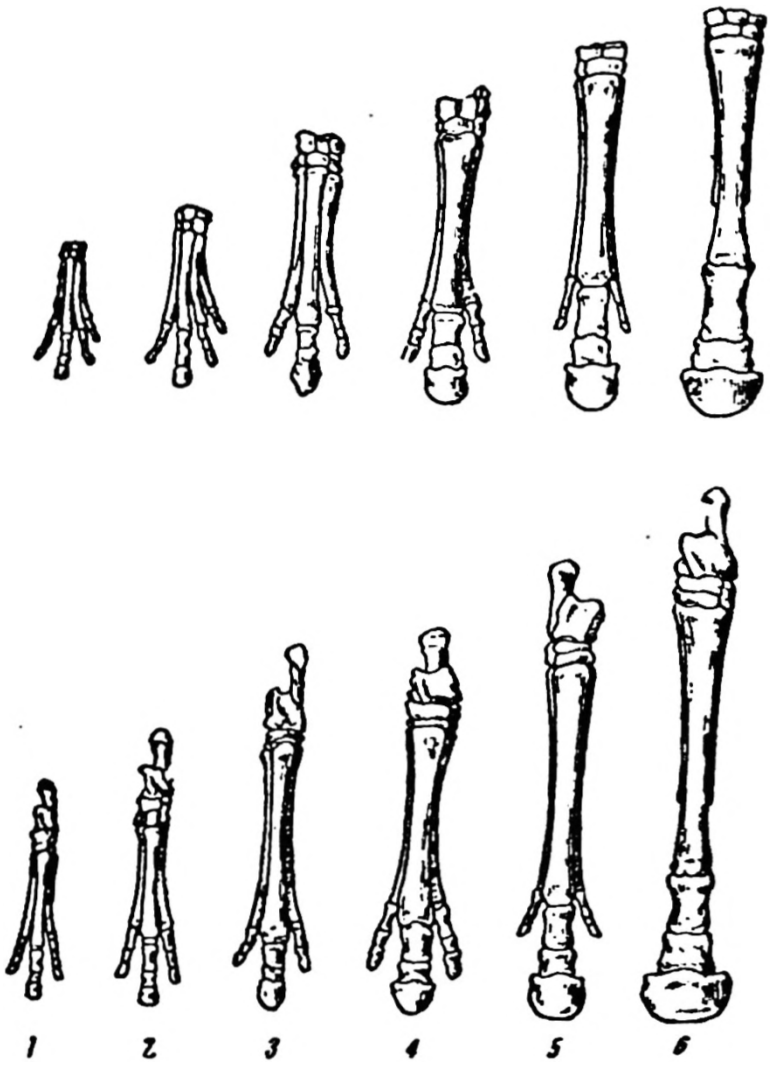


FIG. 344. Extremidades de los antecesores fósiles del caballo. Arriba, extremidades anteriores; abajo, extremidades posteriores: 1, *Eohippus;* 2, *Protohippus;* 3, *Merychippus;* 4, *Hipohippus;* 5, *Hipparion;* 6, *Equus.*

Después desaparecieron los dedos laterales, se desarrollaron ligamentos complementarios, se reforzaron las articulaciones, lo que les protegió contra las dislocaciones al correr sobre un dedo, y el aparato de apoyo se perfeccionó. Así es como surgió el caballo monaxónico, completamente adap-

tado para correr (fig. 344). La transformación de los huesos de las extremidades de los antecesores fósiles del caballo desde el de cuatro dedos hasta el monaxónico actual transcurrió paralelamente a la variación de otros

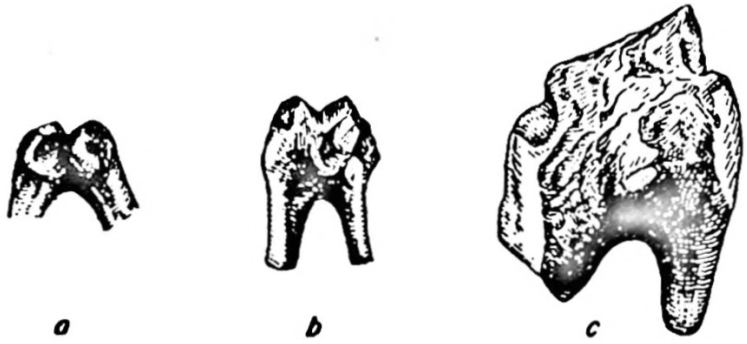


FIG. 345. Molares de los antecesores del caballo actual: *a*, muela del *Eohippus*, con crestas transversales; *b*, muela del *Protohippus*; *c*, muela del *Meryhippus*.

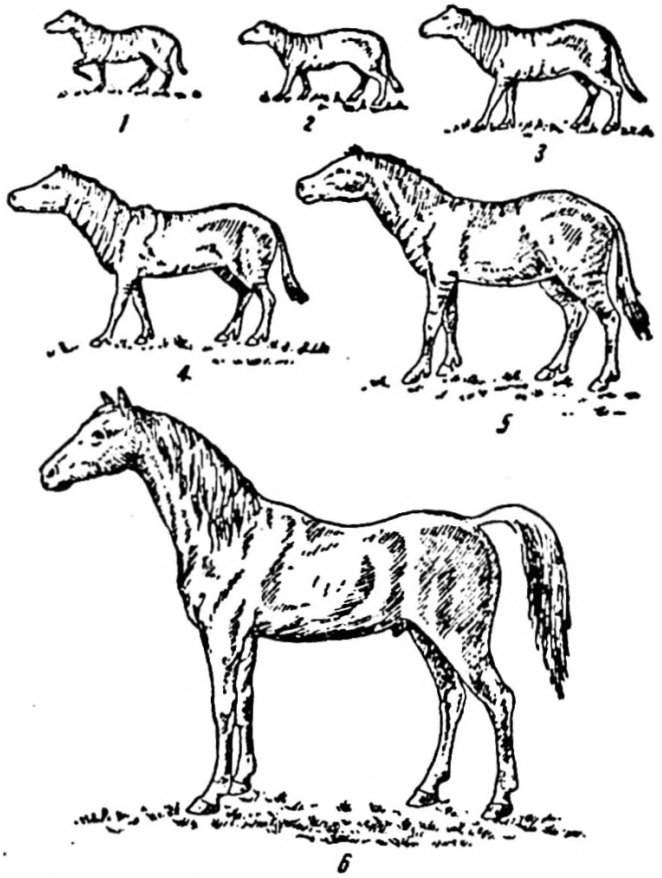


FIG. 346. Restauración de los antecesores del caballo: 1, *Eohippus*; 2, *Protohippus*; 3, *Meryhippus*; 4, *Hipohippus*; 5, *Hipparion*; 6, *Equus*.

caracteres. Se modificó también el sistema *dentario;* las muelas del *Eohippus* tenían tubérculos; después, a consecuencia de la fusión de los tubérculos aislados adquirieron forma aserrada. Variaron también los premolares, su forma

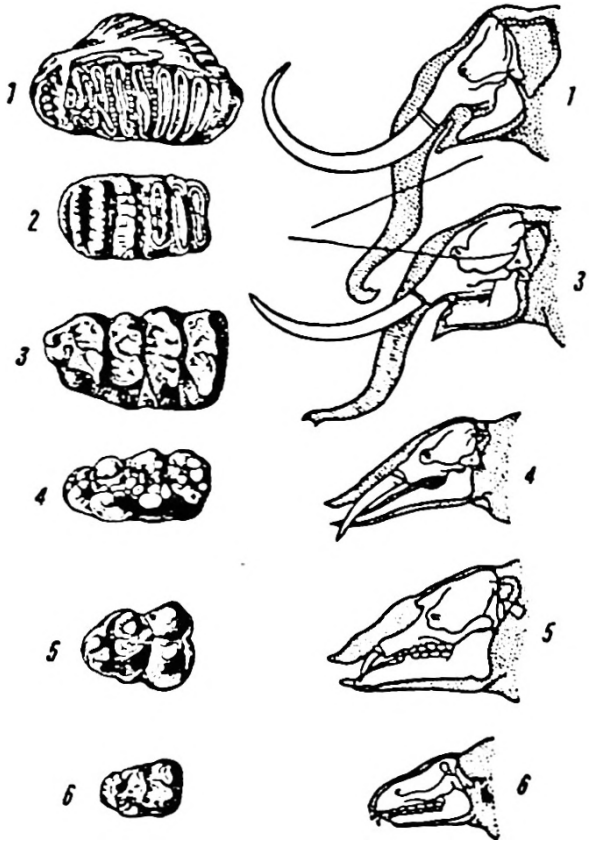


FIG. 347. Evolución de la cabeza (a la derecha) y de las muelas (a la izquierda) de los antecesores del elefante. En la fila derecha, la configuración del cráneo aparece insertada en el contorno general de la cabeza, para mostrar la forma de las partes carnosas: 1, elefante del pleistoceno; 2, estegodonte del plioceno; 3, mastodonte del pleistoceno; 4, trilodofonte del mioceno; 5, paleomastodonte del oligoceno; 6, *Merytherium* del eoceno.

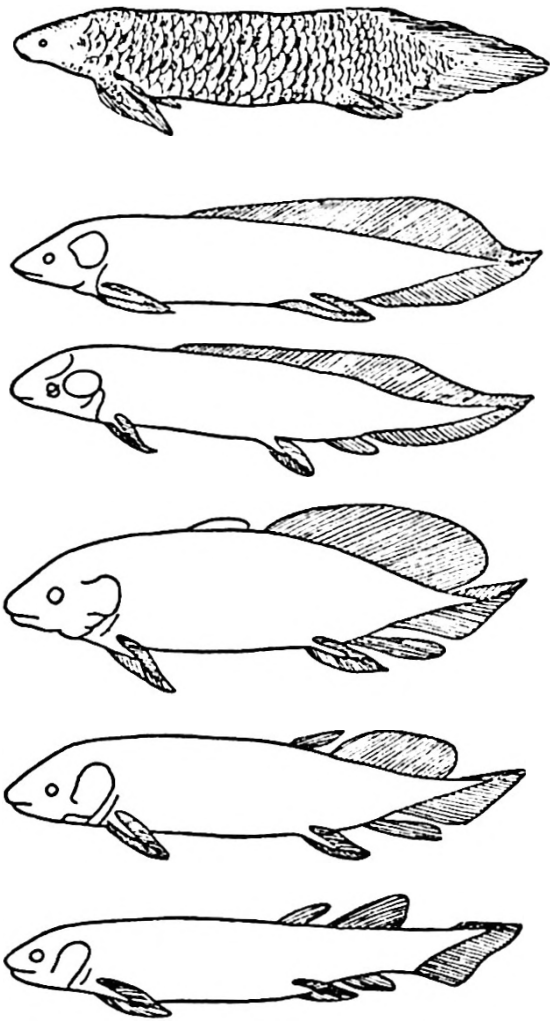


FIG. 348. Serie evolutiva de los peces dipnoos, desde el *Dipterus* hasta el *Ceratodus*. De abajo arriba: *Dipterus valenciensis* (devónico inferior), *Dipterus macropterus* (devónico medio), *Scaumenacia curta* (devónico superior), *Panerolepleuron andersoni* (devónico superior), *Uronemus lobatus* (carbonífero inferior), *Neoceratodus forsteri* (contemporáneo).

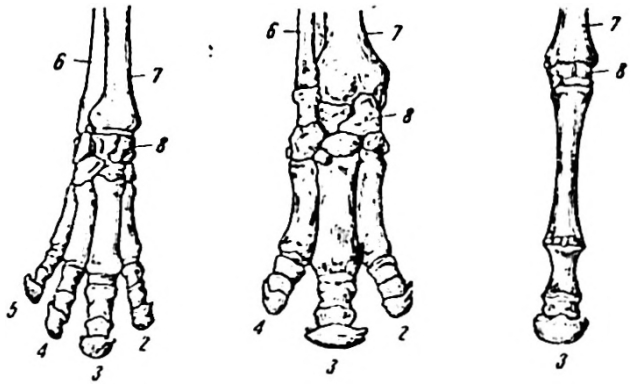


FIG. 349. Esqueleto de los apéndices anteriores del tapir, el rinoceronte y el caballo: 2-5, segundo, tercero, cuarto y quinto dedos; 7, radio y cúbito; 8, huesos de la muñeca.

triangular pasó a ser cuadrangular, es decir, se aproximó a la de los molares. Este proceso se conoce como *molarización* de los premolares (fig. 345). El caballo actual tiene estos dientes completamente iguales a los molares. También se modificaron el tamaño relativo de *partes distintas del cráneo* y algunos caracteres de la *cuenca ocular*. Al mismo tiempo, tuvo lugar un *aumento* gradual de tamaño *del cuerpo*. El precursor más antiguo del caballo, el *Eohippus*, era un animal de poca alzada (30 cm. de altura).

La figura 346 da una idea del aspecto de los antecesores del caballo. Como ya hemos señalado, Kovalevski mostró que la variación de las formas precursoras del caballo fueron consecuencia del cambio de las condiciones de existencia.

Los datos que proporcionan las excavaciones paleontológicas encuentran confirmación en las investigaciones embriológicas. El estudio del desarrollo de las extremidades en los embriones del caballo actual muestra que los huesecillos laterales metacarpianos del segundo y cuarto dedos están representados en el período embrionario por unos cartílagos algo menores tan sólo que los del tercer dedo. Por tanto, la ontogénesis del caballo refleja la fase de cuatro dedos de su desarrollo histórico.

Es también muy compleja la serie filogenética del elefante. Su antecesor más primitivo, el *Meritherium*, era un animal pequeño, de unos 90 cm. de altura; su cuello era móvil; la trompa, si la tenía, debía ser pequeña, su boca poseía 36 dientes. La evolución del elefante transcurrió en el sentido de un *alargamiento de la trompa*, del *crecimiento de los colmillos*, el *acortamiento del cuello*, la *disminución del número de dientes* y el *aumento de las dimensiones del cuerpo* (fig. 347).

Además de las series filogenéticas se distinguen en Paleontología las *series graduadas*, que permiten seguir los *grados de evolución de un órgano*. Sin embargo, no se ha logrado seguir la serie en todos sus caracteres, ya que la sucesión de los cambios filogenéticos respecto a otros caracteres está alterada. Puede servir de ejemplo de serie graduada la de los peces dipnoos (figura 348), desde el devónico inferior hasta la época actual. Esta serie permite ver los cambios sucesivos de las aletas impares, pero si analizamos estas formas respecto a las variaciones del sistema dentario, desaparece el carácter de sucesión.

Si en una serie graduada se advierte el desarrollo sucesivo de un dispositivo determinado, la serie se llama *adaptativa*.

Puede formarse una serie adaptativa no sólo a partir de las formas fósiles, sino también a partir de las que actualmente viven. Por ejemplo, se pueden observar los diferentes grados de especialización de las extremidades de los ungulados en el estudio anatómico-comparado de las formas actuales. Así vemos que el tapir tiene cuatro dedos, el rinoceronte tres, con el dedo medio más desarrollado que los restantes, y, por último, el caballo uno solo con rudimentos insignificantes de los metacarpianos de los dedos laterales (fig. 349).

Las series graduadas y adaptativas no permiten descubrir directamente la filogenia de una forma concreta, pero tienen una importancia indiscutible para comprender el camino que ha seguido la evolución de uno u otro órgano, y también de los animales correspondientes.

Es de gran importancia, a los efectos de comprender el desarrollo filogenético del reino animal, el *establecimiento de relaciones de parentesco*

entre las grandes unidades sistemáticas. A veces se logra determinar la semejanza del plano estructural de algunos tipos por el parecido que ofrecen sus *fases larvarias*. Por ejemplo, basándose en el estudio de estas fases se ha establecido el parentesco entre los moluscos y los anélidos. La presencia de los llamados *grupos mixtos*, que poseen rasgos de grupos sistemáticos próximos, ayuda también a determinar el parentesco entre los últimos. Por ejemplo, los *Peripatus* (fig. 350) combinan los rasgos de los anélidos y los artrópodos. Estos animales tienen tráqueas y un cuerpo constituido por segmentos, lo mismo que los artrópodos, pero, a pesar de que a cada segmento le corresponde un par de patas, éstas no son segmentadas. También les aproxima a los anélidos su sistema excretor.

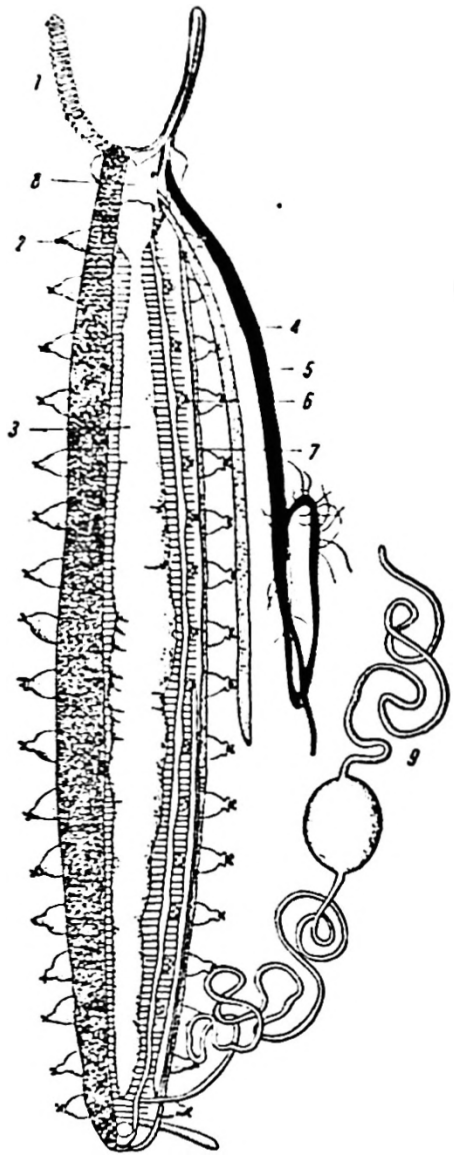


FIG. 350. Anatomía del *Peripatus capensis:* 1, antena; 2, parápodo; 3, intestino; 4, glándula salival; 5, glándula mucilaginosa; 6, órgano segmentario; 7, cordón nervioso; 8, ganglio supraglótico; 9, testículo.

La *homología* es también un importante factor demostrativo del parentesco próximo de las correspondientes formas animales. El método comparativo permite, por ejemplo, revelar la unidad del plano estructural del ala de las aves y la extremidad anterior de otros vertebrados (fig. 351). Sin embargo, gracias a su disposición para el vuelo, dicha ala ha adquirido una serie de características diferenciales.

Una cuidadosa investigación anatómico-comparada permitirá establecer la homología de órganos que incluso han variado notablemente en su estructura y sus funciones; por ejemplo, ha sido establecida la homología de la glándula venenosa de las serpientes con las glándulas salivales, del aguijón de las abejas con el oviscapto, etc. Distinguiendo las formaciones homólogas de las análogas o semejantes podremos determinar el lugar que ocupa tal o cual forma en el sistema del reino animal, ya que formas muy próximas pueden ser muy diferentes en su constitución externa, mientras que otras, taxonómicamente muy lejanas, adquieren a veces extraordinario parecido.

La *analogía de los órganos*, origen de su semejansa externa, es resultado de la adaptación de órganos de origen diferente para realizar funciones semejantes por la afinidad de sus condiciones de vida. Por ejemplo, la aleta caudal y dorsal de la ballena son únicamente análogas, y no homólogas, a las de los peces. El ala de las aves y la de las libélulas son tan sólo formaciones análogas (fig 352). En los casos muy difíciles de investigación filogenética, puede ofrecer una gran ayuda la presencia de órga-

nos *vestigiales* (fig. 353). Con frecuencia, estos órganos sirven de criterio para establecer los grupos sistemáticos.

Especies animales lejanas genéticamente, pero que se adaptaron a vivir en las mismas condiciones de existencia, adquieren caracteres morfológicos

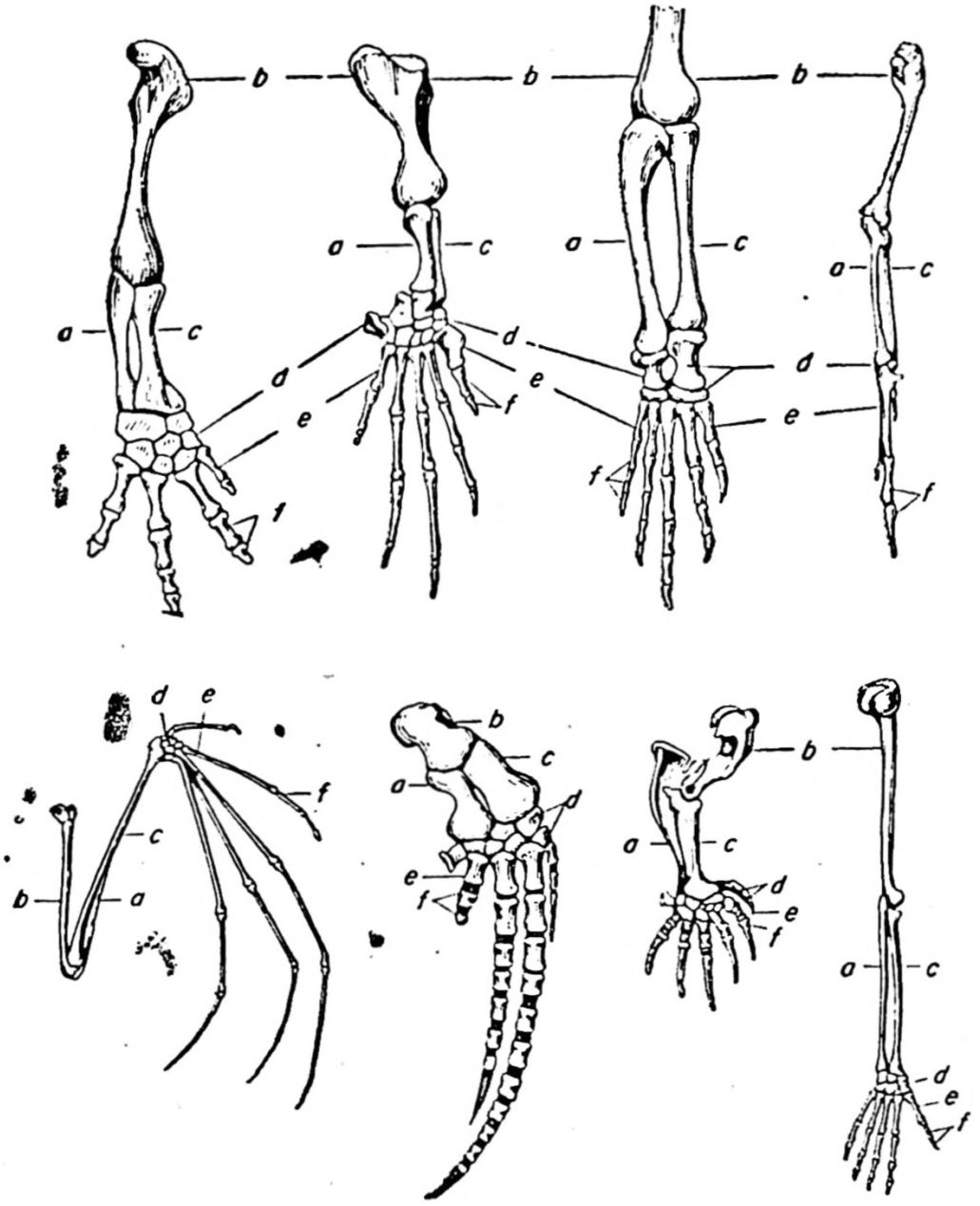


Fig. 351. Esqueleto de los apéndices anteriores de la salamandra, la tortuga marina, el cocodrilo y un ave (arriba); el murciélago, la ballena, el topo y el hombre (abajo). Todas las letras corresponden a los mismos huesos en los apéndices de diferentes animales.

semejantes. A este fenómeno se le conoce con el nombre de *convergencia*. Cada medio posee un considerable número de formas convergentes. Por ejemplo, los mamíferos, las aves, los anfibios y los reptiles que viven en el agua han adquirido dispositivos análogos para la natación. Lo mismo

sucede con los organismos adaptados al salto, a trepar por los árboles, a volar planeando, etc.

Al mismo tiempo, formas muy próximas, pero que viven en condiciones diferentes del medio exterior, pierden su semejanza, alejándose en sus

Fig. 352. Organos análogos: 1, ala de ave; 2, ala de libélula.

caracteres. El fenómeno de diferenciación de caracteres en medios diferentes entre grupos de animales próximos se conoce con el término de *divergencia*. Por ejemplo, el desmán y el topo europeo son dos especies pertenecientes a la misma familia, pero que se han alejado mucho en sus caracteres debido a que el desmán se acostumbró a vivir en el agua y el topo a cavar bajo la tierra.

Cuando, como resultado de la evolución divergente, determinado grupo de animales adquiere dispositivos diversos, gracias a los cuales sus descendientes pueden ocupar distintos lugares en la economía de la naturaleza, se emplea el término de *radiación adaptativa*. Son un ejemplo de radiación adaptativa los grupos de animales que han alcanzado una expansión máxima: en la era mesozoica, los reptiles; en la neozoica, los mamíferos.

Un caso particular de divergencia es el *paralelismo*. Tiene lugar cuando organismos que proceden de antecesores comunes se diferencian en sus caracteres por haberse desarrollado en condiciones del medio exterior distintas; después, al encontrarse sus descendientes en un mismo medio, desarrollan los mismos dispositivos. Pueden observarse numerosos ejemplos de paralelismo entre los animales cavernícolas y abismales, que se han adaptado a vivir en la oscuridad.

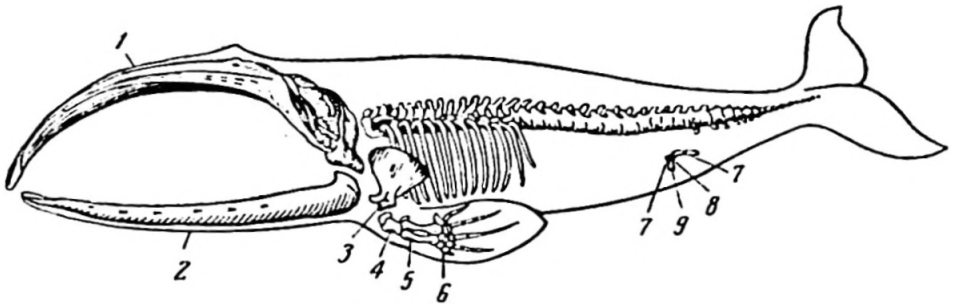


Fig. 353. Esqueleto de la ballena: 1, 2, mandíbulas superior e inferior; 3, omóplato; 4, húmero; 5, huesos del antebrazo; 6, huesos de la muñeca; 7, rudimentos de la pelvis; 8, rudimento del fémur; 9, rudimento de la tibia y el peroné.

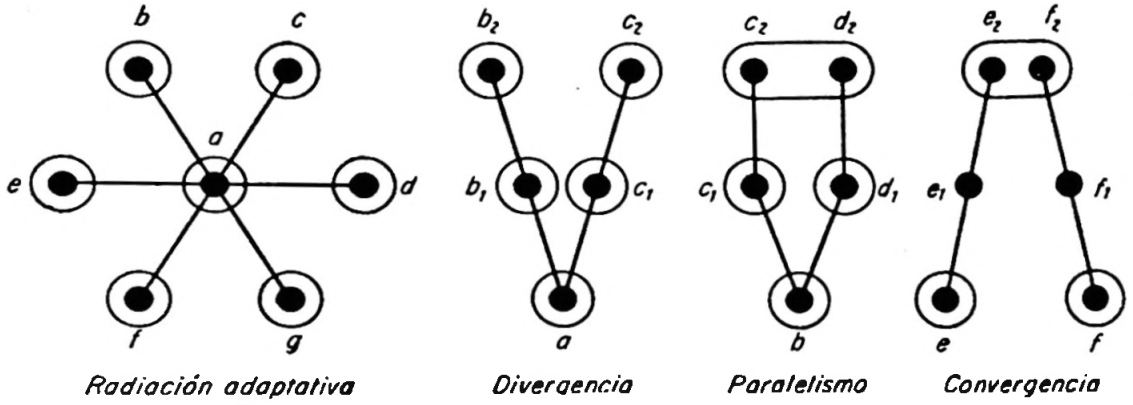


Fig. 354. Radiación adaptativa, divergencia, convergencia y paralelismo (esquema).

Todos estos casos pueden ser representados gráficamente (fig. 354).

Tiene gran importancia para el estudio del desarrollo filogenético de los órganos el *principio del cambio de funciones*, que introdujo en la ciencia Antón Dorn. Dorn señaló que cada órgano del animal posee varias funciones, una de las cuales sobresale sobre el resto. Es la llamada función *principal*; las otras tienen importancia secundaria. Por ejemplo, la función principal de las extremidades de los mamíferos es el trasladarse por tierra, pero también pueden utilizarse para nadar, trepar a los árboles, cavar la tierra, sujetar la presa, etc. En determinadas condiciones, una de las funciones secundarias puede llegar a tener valor predominante. Entonces pasa a ser principal, mientras que la que era principal se transforma en secundaria o incluso llega a desaparecer; en tales casos varía la conformación

del órgano. Pueden servir de ejemplo los miembros de las ballenas, que se han transformado en aletas.

Los problemas relativos a las variaciones que tienen lugar en las funciones de los órganos a lo largo de su evolución filogenética fueron estudiados por muchos hombres de ciencia, alcanzando especial desarrollo en las obras de Sévertsov.

Sévertsov consideraba que los cambios se producen al *intensificarse o reducirse tal o cual función;* su carácter puede ser cuantitativo o cuali-

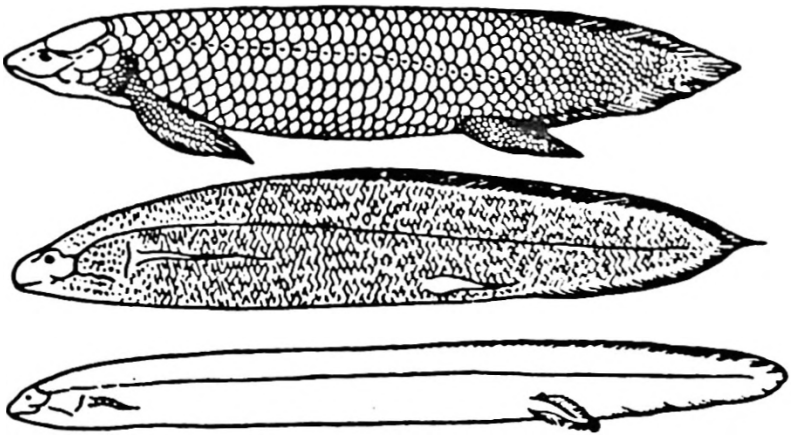


FIG. 355. Tres representantes de los peces dipnoos: *a*, Barramunda (*Ceratodus*); *b*, *Protopterus*; *c*, *Lepidosiren*.

tativo. Según esto, agrupó las variaciones de los órganos en *dos categorías*: la primera abarca los cambios que no afectan el lado cualitativo de una u otra función principal, es decir, se trata únicamente de un *índice cuantitativo;* la segunda categoría incluye todos aquellos cambios en que la función principal varía *cualitativamente.*

De acuerdo con ello existen los siguientes modos fundamentales de desarrollo filogenético de los órganos.

Intensificación de las funciones, es decir, aumento, en el proceso filogenético, de cualquier función aislada. Por ejemplo, el desarrollo del tejido muscular se debe a la intensificación de la función contráctil. Del mismo modo se ha realizado el proceso de transformación de las células epiteliales en glandulares; en este caso se ha intensificado la función secretora.

La intensificación de la función de un órgano puede lograrse también mediante el aumento de sus componentes. Por ejemplo, las glándulas mamarias de los mamíferos actuales surgieron por el aumento numérico de las glándulas sudoríparas primitivas que las integraban.

Ampliación de las funciones. Pueden servir como ejemplo de ampliación de funciones las aletas de los crosopterigios, que utilizaban no sólo para nadar, sino también para arrastrarse, lo que tuvo importancia decisiva en la evolución de los vertebrados terrestres.

Disminución del número de funciones. Un buen ejemplo de la disminución del número de funciones es la evolución de las extremidads del caballo, que hemos visto anteriormente. No cabe duda de que la pata pentadáctila del antecesor del caballo gozaba de más posibilidades en el sentido de realizar mayor número y más variedad de movimientos. Sin embargo,

la limitación de sus funciones en favor del incremento de la función principal, el galope, tuvo un gran valor en las condiciones que ofrecía la estepa.

Sustitución de los órganos. Un ejemplo de evolución en que un órgano sustituye a otro, que realiza igual función, lo ofrece el desarrollo del esqueleto axil de los cordados en los representantes inferiores de este tipo. El notocordio realiza la función de esqueleto axil durante la vida; entre los vertebrados, se conserva únicamente en las etapas iniciales de desarrollo embrionario; después, viene a sustituirlo el esqueleto cartilaginoso, primero, y el óseo, después.

La diferenciación de los conceptos que acabamos de enumerar tiene singular importancia en cuanto al problema de la filogenia de los organismos animales y, en relación con ello, en cuanto al problema del origen *monofílico* o *polifílico* (de distintas raíces) del mundo orgánico. Los partidarios de la teoría polifílica se basan únicamente para mantener su punto de vista en la teoría autogenética de la herencia, que afirma el origen independiente de los gérmenes hereditarios, los "genes", que existen eternamente, y que al combinarse entre sí originan al parecer la gran diversidad que ofrece el mundo orgánico.

El problema del carácter monofílico o polifílico de la evolución puede resolverse únicamente sobre la base de investigaciones filogenéticas concretas: apoyándose en los datos de la Anatomía comparada, la Embriología y la Paleontología, es decir, empleando el método del triple paralelismo. Sévertsov estudió así la evolución de los vertebrados inferiores y demostró su carácter monofílico (véase el esquema de la pág. 547).

ORÍGEN DE LOS VERTEBRADOS TERRESTRES

La Paleontología muestra que históricamente aparecieron en un principio los peces y después los vertebrados terrestres. Las investigaciones embriológicas descubren en los embriones de los vertebrados terrestres contemporáneos vestigios de aberturas branquiales.

Se considera que los antecesores de los vertebrados terrestres son los *crosopterigios primitivos,* que vivían como animales bentónicos. Estas formas de crosopterigios tenían respiración pulmonar y podían trasladarse por el fondo con ayuda de sus aletas, lo cual les permitía salir del agua a tierra. Estas formas primitivas han desaparecido.

En la actualidad se conservan las ramas laterales de la subclase de los dipnoos: el ceratodo australiano (*Neoceratodus*), conocido vulgarmente con el nombre de barramunda, el *Protopterus* africano y el *Lepidosiren* americano (fig. 355).

De la subclase de los crosopterigios ha llegado hasta nuestros días el latimerio (fig. 356). Un ejemplar de este pez fue capturado en 1938 cerca de la costa sudeste de Africa y cinco más, en el período comprendido entre 1952 y 1954, en la región de las Islas Comores.

Estos peces son una especie de fósiles vivientes; sin embargo, todos ellos evolucionaron de acuerdo con condiciones distintas de las que existían cuando se desarrollaron los antecesores de los vertebrados terrestres y no son las formas originarias de estos últimos.

De los dipnoos y crosopterigios primitivos proceden las verdaderas for-

mas de transición, que están representadas por numerosos hallazgos paleontológicos, los anfibios estegocéfalos (fig. 357).

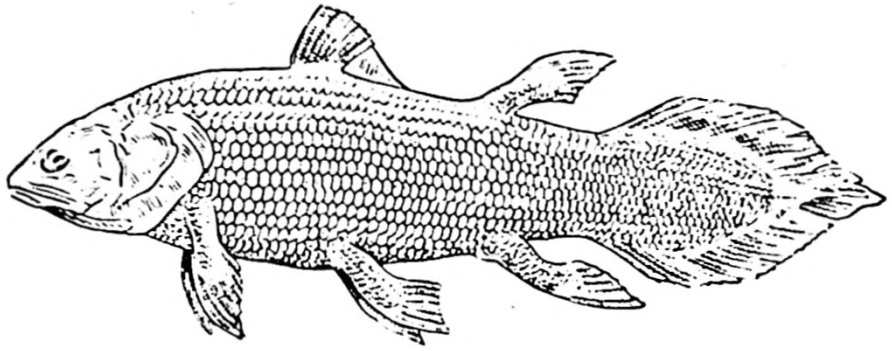


FIG. 356. Latimeria.

Los estegocéfalos aparecieron en las condiciones propias de un clima caluroso y seco. Reunían las características de sus antecesores pisciformes y también de los batracios y los reptiles.

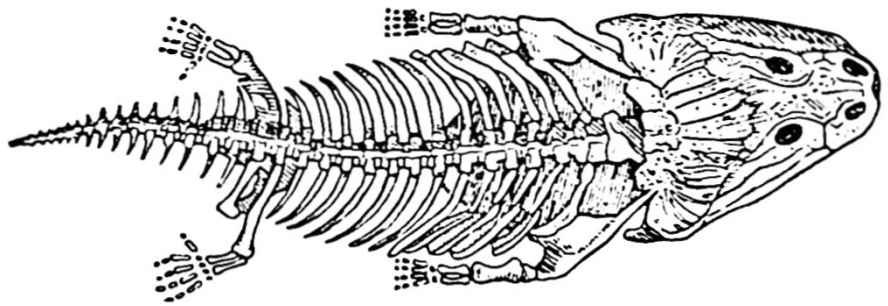


FIG. 357. Esqueleto del estegocéfalo *Meropias*.

Una característica de los estegocéfalos o anfibios de cabeza acorazada era su cubierta de placas óseas (heredada de los crosopterigios). Este caparazón cubría la cabeza por encima y por los lados y tenía solamente unos orificios para los ojos, las fosas nasales y el órgano occipital. La mayoría poseía también una coraza ventral, que protegía la parte inferior del cuerpo, lo cual tenía gran importancia para nadar y arrastrarse por las desigualdades del terreno. La pelvis no siempre estaba unida a la columna vertebral. En muchos representantes de estos animales, ya desaparecidos, la cintura escapular conservaba la articulación con el cráneo.

El desarrollo de los estegocéfalos estuvo acompañado de una metamorfosis, lo mismo que en los batracios. Su cráneo, caracterizado por una estructura mixta, era muy semejante al de los peces crosopterigios, pero se diferenciaba de él por faltarle los huesos del opérculo. El cráneo de los anfibios actuales conserva caracteres comunes al de los estegocéfalos, aunque tiene un número reducido de huesos, por haber sufrido ulterior simplificación. El cráneo de los reptiles, sobre todo de las formas primitivas (cotilosauros), recuerda el de los estegocéfalos, especialmente por conservar una coraza completa de placas óseas dérmicas en la caja craneal. El paso del régimen de vida acuático al terrestre constituyó un *momento de trascendental importancia* en la evolución de los antecesores de los vertebrados terrestres. En el nuevo medio no tropezaron con enemigos ni competidores, ya que eran

sus primeros habitantes. Encontraron enormes fuentes de alimentación y, por lo tanto, posibilidades ilimitadas para multiplicarse y diseminarse.

Es natural que la adaptación al nuevo medio de vida diese lugar a numerosas y profundas transformaciones en el cuerpo de estos animales. Varió el modo de trasladarse, a causa de lo cual las aletas fueron sustituidas por extremidades para moverse por el suelo (fig. 358). Se modificaron los

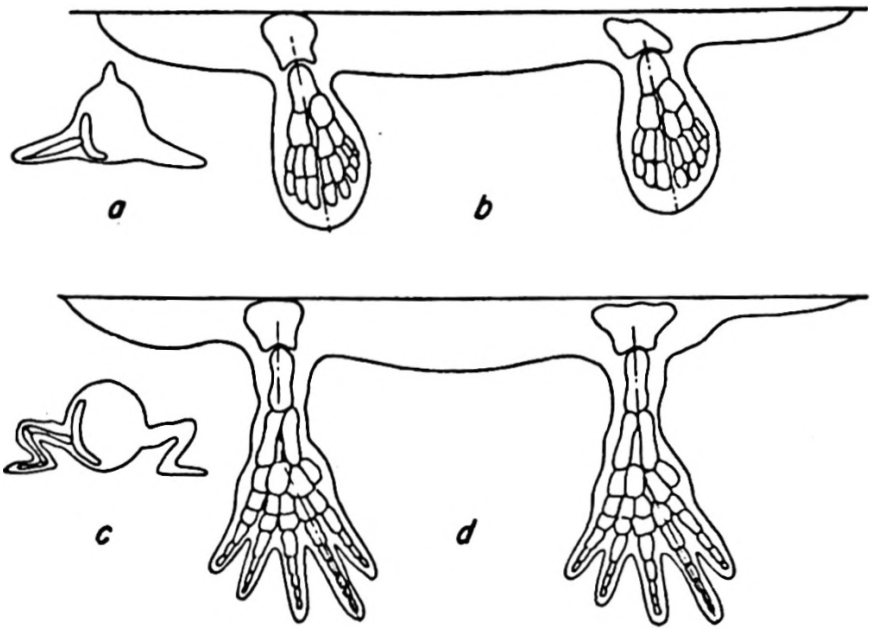


Fig. 358. Esquema de la transformación del esqueleto de la aleta de un antecesor pisciforme en el esqueleto del apéndice pentadáctilo (quiridio): *a* y *b*, esquema del esqueleto del crosopterigio fósil *Sauripterus*; *c* y *d*, esquema de los apéndices de un vertebrado terrestre.

órganos respiratorios (se desarrolló la respiración pulmonar) y el *aparato circulatorio* (el corazón pasó a tener tres cavidades en lugar de dos). La vida terrestre determinó la influencia en el organismo de *gran cantidad de nuevos estímulos*, a consecuencia de lo cual se modificó profundamente el *sistema nervioso*: variaron en proporción las dimensiones de las diferentes partes del *cerebro*, sobre todo por el desarrollo de los órganos sensoriales de recepción *a distancia* (vista, oído), que aseguraron la percepción de estímulos alejados.

Los anfibios actuales, los anuros (ranas y sapos), los urodelos (salamandras y tritones) y también los ápodos (cecilia o gimnofionas) han conservado en su organización numerosos caracteres primitivos, a pesar de haber recorrido un gran camino en su evolución. Muchos de estos caracteres primitivos son de origen *secundario* y más sencillos que los análogos de su antecesores, los estegocéfalos.

Un momento muy importante en la evolución de los vertebrados fue la formación en su cuerpo de una *envoltura córnea consistente*. Su desarrollo se produjo en relación con el clima tórrido y seco que imperó en grandes extensiones de la tierra a finales del período carbonífero. Esta envoltura

FIG. 359. *Archaeopteryx.*

córnea les permitió independizarse aún más del agua, ya que la piel de los anfibios, que era mucilaginosa y rica en glándulas, necesitaba humedad, y ello circunscribía la vida de estos animales a las proximidades de lagos y ríos. Al mismo tiempo que se les formaba una envoltura protectora, estos animales adquirieron la *capacidad de poner los huevos en tierra*. La forma más primitiva de los reptiles conocidos corresponde al *Seymouria*, que pertenecía a la subclase de los cotilosauros (holocéfalos). Estos animales se asemejan mucho por su estructura a los estegocéfalos y, sin embargo, la columna vertebral, las extremidades y las cinturas y algunos rasgos de la conformación del cráneo son típicos de los reptiles. Las cualidades adquiridas en el proceso de la evolución abrieron amplias posibilidades para la expansión de los reptiles y para que éstos se adaptasen a las condiciones de vida más variables. *En la era Mesozoica adquirieron los reptiles su mayor desarrollo,* invadiendo la tierra, el mar y el aire. Los reptiles actuales, los haterias, los lepidosaurios, los cocodrilos y las tortugas son únicamente restos poco numerosos, muy modificados por la evolución, de una fauna reptiliana que en tiempos fue muy rica. Esta fauna se extinguió, pero la Paleontología encuentra huellas que muestran la relación entre los animales superiores contemporáneos y los representantes primitivos de esta clase, inexistentes hoy.

Por ejemplo, en los yacimientos jurásicos (en los esquistos litográficos de Baviera) fueron encontrados dos ejemplares de las *primeras aves,* que vivieron en la era Mesozoica; pertenecían a dos géneros, el *Archaeornis* y el *Archaeopteryx* (fig. 359).

Eran del tamaño de una paloma grande, con la cabeza exenta de pico córneo y las mandíbulas dotadas de dientes. En las patas anteriores tenían tres dedos muy desarrollados, terminados por uñas ganchudas. Los miembros posteriores, con cuatro dedos, no difieren del tipo propio de las aves actuales. La cola se asemejaba más bien a la de un lagarto, con un eje esquelético óseo constituido por gran cantidad de vértebras; las plumas caudales estaban colocadas una detrás de otra, a ambos lados, de modo análogo a las hojas de la palma datilera. Sin embargo, estos animales eran verdaderas aves, ya que su cuerpo estaba cubierto de plumas.

Entre las aves fósiles del período cretácico las hay también con dientes desarrollados, semejantes a los de los reptiles. Las aves actuales no los poseen. Al parecer, las aves proceden de pequeños reptiles, capaces de subir a los árboles, que paulatinamente se acostumbraron a dar saltos planeando, de donde pasaron al vuelo activo. A causa de ello, las extremidades anteriores se adaptaron a andar por el suelo. La envoltura escamosa de los reptiles se transformó en plumas y se realizaron cambios en los aparatos respiratorio y circulatorio (corazón de cuatro cavidades, temperatura elevada) y en el sistema nervioso.

FIG. 360. Reconstitución de un *Inostransevia* devorando a un escutosauro.

Nos ofrece una idea del origen de los mamíferos el grupo fósil de los *Teriodontos* (dientes de fiera), que se encuentra en los yacimientos de fines de la era paleozoica. Uno de los representantes de este grupo es el *Inostransevia,* hallado en los estratos pérmicos del Dvina del Norte y descrito por el profesor V. P. Amalitski. Se trata de un animal de enormes dimensiones, con dientes parecidos a los del tigre (fig. 360).

Los teriodontos son reptiles, pero por la estructura del cráneo y el sistema molar se asemejan a los mamíferos. Tenían los dientes *diferenciados* en incisivos, caninos y molares. Muchas especies presentaban un *segundo paladar óseo.* La *mandíbula inferior* se parecía también mucho a la de los mamíferos. Algunas especies poseían un *doble cóndilo occipital.* Sin embargo, no son los antecesores directos de los mamíferos, ya que junto a caracteres comunes a éstos, poseían elementos de una elevada especialización, lo que demuestra el distinto camino que siguieron en su desarrollo. Por eso hay que pensar que los mamíferos tienen *antecesores comunes* con los reptiles fósiles, los cuales conservaban mucho de común con los primeros batracios, los estegocéfalos. La rama que dio origen a los mamíferos se separó muy pronto de los reptiles primitivos; eso debió suceder *a fines de la era paleozoica,* es decir, antes de que se separasen las formas precursoras de las aves.

Los descubrimientos paleontológicos de los antecesores de los mamíferos son muy incompletos y no siempre fidedignos. En la mayoría de los casos se trata de dientes aislados o de pequeñas partes del cráneo. P. P. Sushkin ha descrito a un representante de los estratos pérmicos del Dvina del Norte, al que dio el nombre de *Permocinodonte.* La longitud del cráneo de este animal era de 91 mm. En América del Sur se encontró otro animal de este tipo, el *Escalosaurio,* cuyo cráneo medía 5 cm.

En los estratos superiores del triásico se han encontrado restos de *Microlestes,* alimañas del tamaño de una rata o algo mayores. Sus muelas eran multiconodontas con las protuberancias dispuestas en filas. Los incisivos eran muy grandes; no tenían colmillos. Al parecer se trataba de animales *herbívoros.* Los dientes de los monotremas jóvenes

muestran una gran *semejanza* con los de los microlestes. Se puede pensar que estos últimos son, si no precursores directos de los monotremas (ornitorrinco, equidna), por lo menos un grupo muy próximo a ellos.

En los yacimientos del Jurásico medio y superior se han encontrado animales que pueden ser considerados como mamíferos verdaderos, aunque muy primitivos; son los llamados *Triconodontos*, pequeñas alimañas insectívoras. Su cerebro no era muy grande, pero sí relativamente mayor que el de los teriodontos. En la actualidad, puede admitirse que el grupo fundamental de los tituberculados es el que sirve de *punto de partida para los mamíferos marsupiales y placentarios*. Los placentarios se separaron a principios del período Cretácico. Sus formas más primitivas pertenecen al orden de los insectívoros.

La evolución progresiva desde los reptiles primitivos hasta los mamíferos está relacionada con el empeoramiento de las condiciones climatológicas, con un gran aumento del frío; se verificó mediante la *transformación de la envoltura escamosa en peluda* y el desarrollo progresivo de los *pulmones* y del *aparato circulatorio*. Apareció la *temperatura elevada*. El *corazón* pasó a tener *cuatro cavidades*, conservándose únicamente *un solo arco aórtico* (el izquierdo). La presencia de un *segundo paladar óseo* les permitió realizar la respiración de un modo continuo, sin necesidad de interrumpirla durante la comida. Los *tejidos cutáneos se hicieron más complicados*, lo cual era necesario para la regulación térmica. Los *dientes se diferenciaron*. La evolución transcurrió en el sentido del nacimiento de seres vivos (viviparismo), del desarrollo de la placenta y de la alimentación de los recién nacidos con leche materna. El *sistema nervioso* se desarrolló progresivamente, en primer lugar el cerebro.

FIG. 361. Bolsa marsupial de un canguro, abierta, con la cría.

Los antecesores de los mamíferos, como una rama independiente que eran, coexistieron con los reptiles a lo largo de toda la era Mesozoica. En la época Terciaria, gracias a sus caracteres progresivos, los mamíferos fueron eliminando paulatinamente a los reptiles en la lucha por la existencia y ocuparon en la tierra el lugar preeminente. La subclase más antigua de mamíferos corresponde a los *monotremas* (ornitorrinco australiano, equidna). Estos animales han conservado aún la cloaca y ponen huevos lo mismo que los reptiles. La subclase que apareció a continuación fue la de los *marsupiales*, llamados así por tener en el abdomen una bolsa especial, destinada a llevar las crías (fig. 361). Son los marsupiales animales cuyos descendientes nacen vivos, pero las crías son muy atrasadas y débiles y no están adaptadas para una vida independiente.

Actualmente, los marsupiales están extendidos principalmente en Australia, debido al aislamiento de este pequeño continente. La subclase filogenéticamente más *joven* es la de los *placentarios*. Estos animales dan a luz crías en un estado de desarrollo avanzado; se alimentan en el claustro materno por medio de un órgano especial, la placenta, que se desarrolla y

funciona durante el embarazo. Los placentarios, que es la rama más progresiva de los mamíferos, se extendieron por toda la superficie terrestre, eliminando a otros representantes de esta clase.

Hoy día no cabe duda de que la forma que domina en la tierra es sólo un representante de los mamíferos, el hombre, en cuyo desarrollo, aparte de sus caracteres biológicos específicos, han desempeñado un importante papel los factores sociales.

ORIGEN DEL HOMBRE

El problema del origen y el proceso de formación del hombre rebasa ya el marco de la Biología; es un problema social. A lo largo del proceso de su desarrollo histórico, ya en las primeras etapas de la antropogénesis, el hombre se emancipó de la influencia de la selección natural. Si cualquier animal se adapta a las condiciones variables de vida, el hombre, al actuar de una manera activa y consciente sobre la naturaleza que le rodea, crea un nuevo medio. "En pocas palabras —decía Engels—, el animal se limita a *utilizar* la naturaleza exterior, y los cambios que realiza en ella se deben simplemente a su mera presencia; y el hombre, mediante los cambios que él aporta, obliga a la naturaleza a servir a sus fines, la *domina*"[1].

Los factores motrices en el origen del hombre son el *trabajo,* los medios de producción y las relaciones de producción, es decir, el modo de producción social de los bienes materiales. Ellos son los que determinan el avance de la sociedad humana, la modifican y, al mismo tiempo, hacen variar al hombre.

Durante muchos siglos dominó la idea del origen divino del hombre, de que su procedencia se debía a un acto creador de un ser superior, de Dios. A eso debía supuestamente el hombre su psicología, sus normas de conducta y otros rasgos que le diferencian de los animales.

Sin embargo, el estudio de la organización del hombre y de los animales, la acumulación cada vez mayor de conocimientos en este sentido, llevaron a la incontrovertible conclusión de que existen caracteres muy acusados de semejanza en la estructura de unos y otros. Por eso, Linneo, en *El sistema de la naturaleza,* se vio obligado a colocar al hombre junto a los monos, agrupándolo en el orden de los primates. Sin embargo, Linneo era extraño a la idea del desarrollo y estaba muy lejos de pensar en el parentesco del mono y el hombre. Más aún, no dudaba del origen divino del hombre como resultado de un acto creador especial, a pesar de lo cual colocó al hombre en el orden de los primates.

La influencia de los dogmas religiosos era tan grande que Darwin, en uno de sus primeros trabajos, *Origen de las especies* (1859), obra que asestó un golpe decisivo a la teología y la teleología, no se atrevió a hablar claramente del origen animal del hombre, limitándose tan sólo a señalar que su teoría haría también luz sobre este problema. Ahora bien, tal conclusión era totalmente obligada, de acuerdo con la teoría evolucionista. A esta idea llegó Huxley en su libro *Lugar del hombre en el reino animal* (1868).

En 1871, Darwin, en su excelente obra *El origen del hombre y la selección sexual,* y algo después en *Expresión de las sensaciones en el hombre y en los animales,* reunió una gran cantidad de datos que demostraban, sin dejar lugar a dudas, el origen animal del hombre, su evolución a partir de

[1] F. Engels. *Dialéctica de la naturaleza,* 1952, pág. 140.

los monos primitivos. Pero aunque demuestra que el hombre no apareció de una vez, sino que fue desarrollándose poco a poco, a partir de formas animales inferiores, Darwin no descubrió los factores que determinaron el paso del mono al hombre.

Esta tarea la cumplió Engels, que en 1878 escribió *El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre.* Más adelante nos detendremos con detalle en los puntos fundamentales de esta obra.

El origen del hombre y la selección sexual, de Darwin, atrajo la atención de los investigadores hacia los problemas de la *antropogénesis;* en la actualidad son muy numerosos los datos que confirman el origen del hombre. Veamos algunos de ellos.

Pruebas del origen animal del hombre.

Toda la Anatomía comparada habla en favor del parentesco del hombre con los animales. El hombre no tiene ni un solo órgano que no sea típico de los mamíferos. El diafragma separa la cavidad torácica de la abdominal; el cuerpo está cubierto de vello; el corazón consta de cuatro cavidades; los eritrocitos carecen de núcleo, etc.

El hombre es homotermo, es decir, la temperatura de su cuerpo es constante; la mujer pare y alimenta a los hijos con su leche, que procede de las glándulas mamarias. El origen animal del hombre lo prueba la estructura del esqueleto, en el que no hay un solo hueso que no aparezca en otros mamíferos; la topografía de los músculos, de los vasos sanguíneos y de los nervios es, en lo fundamental, la misma que en los animales superiores. El hombre tiene, lo mismo que los animales, la corteza de los hemisferios cerebrales, que en él ha alcanzado un gran desarrollo.

Solamente partiendo de posiciones evolucionistas y darvinistas pueden ser interpretados los órganos rudimentarios o vestigiales que posee el hombre en número superior a treinta (fig. 362). Son a modo de testigos de su origen a partir de animales inferiores. Nuestros antecesores tenían rabo, del cual ha conservado el hombre la región coxígea, constituída por 3 ó 4 vértebras con sus músculos característicos y sus vasos sanguíneos. Los lejanos parientes del hombre tenían móvil la oreja, que ponían en movimiento por medio de músculos especiales. Como sabemos, el pabellón de la oreja del hombre actual es inmóvil, pero los músculos se han conservado. El cuerpo de los antecesores del hombre estaba cubierto de una abundante capa de pelos, que en los momentos de peligro y cuando el frío era muy intenso se ponían "de punta", a consecuencia de la contracción refleja de unos músculos especiales, los músculos horripiladores, de la vaina del pelo. De este modo disminuía la pérdida de calor, y cuando se encontraba con un enemigo daba la impresión de que el cuerpo era de mayor tamaño. En la actualidad, el vello que cubre el cuerpo del hombre está muy reducido, pero se han conservado los músculos que erizan los pelos. Por eso, al enfriarse la piel, ésta se hace desigual ("carne de gallina"). En el ángulo interior del ojo hay un repliegue semilunar, que no es más que un resto del tercer párpado, desarrollado en las aves, los reptiles y otros vertebrados, el cual evita que el ojo se seque y sirve también para limpiar la superficie del globo. En el hombre y otros mamíferos se ha formado un aparato especial para humedecer el globo ocular, y el tercer párpado se ha conver-

tido en un órgano rudimentario. También podemos atribuir el mismo origen el apéndice vermicular del ciego intestinal y a la epífisis, resto del ojo pineal, que encontramos en algunos reptiles, etc.

Hablan asimismo del origen animal del hombre los casos de *atavismo,* cuando aparecen rasgos característicos de lejanos antecesores. A veces na-

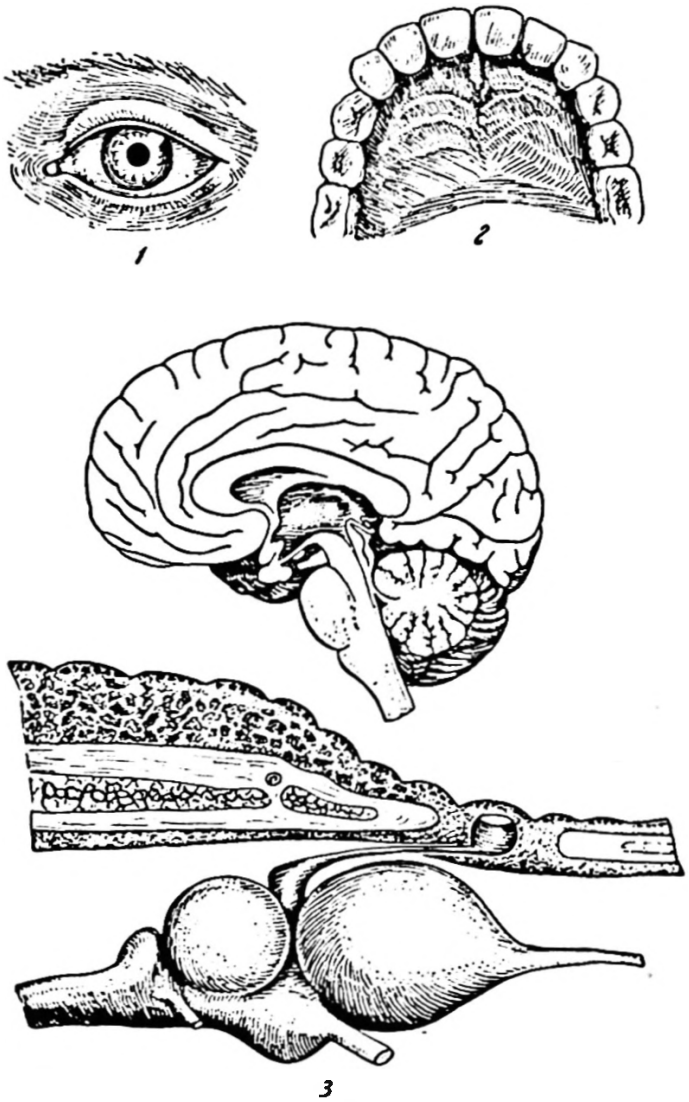


FIG. 362. Organos rudimentarios del hombre: 1, repliegue semilunar del ojo; 2, estrías palatinas; 3, epífisis.

cen, por ejemplo, niños "con rabo" o "peludos". Estos últimos tienen cubierto todo el cuerpo, incluso la cara, de una gran vellosidad. Los embriones humanos (a los seis meses) están cubiertos de pelo, que después no se desarrolla. En algunos casos el cuero cabelludo no se reduce (fenómeno de atavismo) y entonces nacen los niños peludos. Durante el período en que dominaban las supersticiones y la Inquisición, semejantes casos le costaban frecuentemente la vida a la madre, a quien se acusaba de tener relaciones con el "diablo". El hombre tiene dos mamas; sus antepasados tuvieron varios pares de ellas. Sin embargo, alrededor del 5 por ciento de los re-

cién nacidos tienen lo que se llama mamas complementarias, que constituyen otro caso de atavismo.

La embriología (fig. 363) ofrece argumentos numerosos y muy convincentes en favor de la procedencia del hombre de los animales inferiores (vertebrados). Es necesario subrayar que el desarrollo del hombre, lo mis-

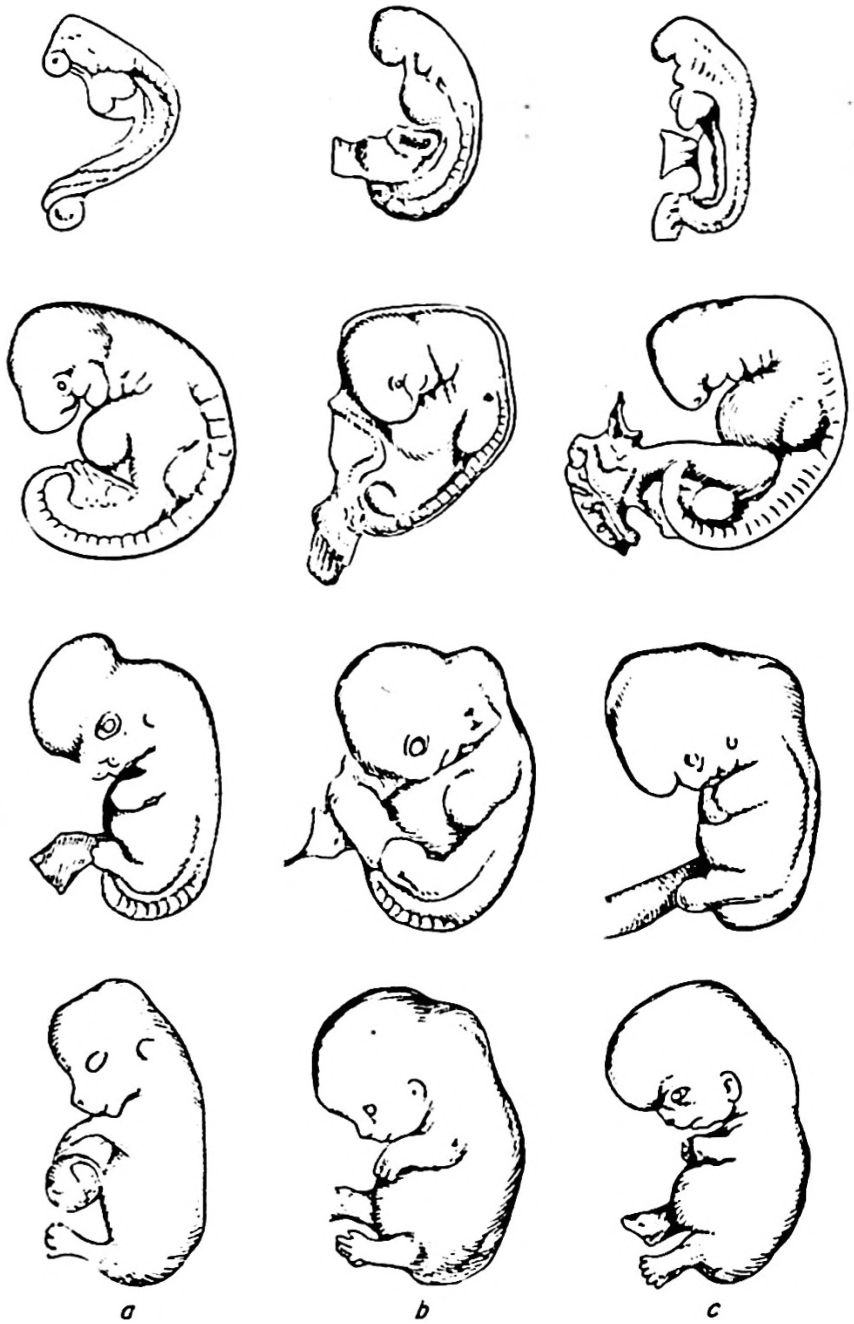


FIG. 363. Embriones de conejo (*a*), de mono (*b*) y de hombre (*c*), en distintas fases de desarrollo.

mo que el de todos los animales, comienza por el zigoto, es decir, por un huevo fecundado, que se desarrolla mediante segmentación. La formación de las hojas embrionarias y la organogenia transcurren en el hombre lo mismo que en el resto de los mamíferos. Tan sólo en las fases relativamen-

te tardías del desarrollo embrionario es posible distinguir el embrión humano del de los otros vertebrados superiores, tan extraordinario es su grado de semejanza. El hombre, lo mismo que los otros mamíferos, es un cordado. En el feto humano se forma el notocordio, alrededor del cual se desarrolla después la columna vertebral. Los restos de la cuerda dorsal se conservan en estado adulto, en forma de núcleos, de los discos intervertebrales.

Los precursores del hombre fueron vertebrados acuáticos, de respiración branquial; así lo confirma el hecho que, en las fases tempranas de desarrollo, se forman en el embrión humano arcos branquiales, dotados de vasos sanguíneos característicos. El embrión humano tiene una cola bastante larga, que luego se reduce. Su cerebro consta, en determinadas fases de su desarrollo, de cinco vesículas, lo mismo que el de los vertebrados inferiores. Después recorre las etapas correspondientes al cerebro de los mamíferos inferiores; las cincunvoluciones de los hemisferios cerebrales, por ejemplo, aparecen tan sólo en el sexto mes de vida en el claustro materno. Estos hechos, entre otros, demuestran, sin lugar a dudas, el origen animal del hombre.

Lugar del hombre entre los mamíferos. Por todos sus rasgos biológicos el hombre debe ser incluido en los primates que tienen su origen en el grupo más primitivo de placentarios, los insectívoros. En la actualidad los primates comprenden el orden de los *pseudomonos o prosimios* y el orden de los *simios* o *pitecoides,* en el que se incluye al *hombre.* Los primates se relacionan con los insectívoros a través de los *Tupaias.*

Los primates son animales plantígrados y pentadáctilos, que, en lo fundamental, llevan un régimen de vida arborícola. Las falanges terminales están, en su mayor parte, provistas de uñas, por lo menos es unguiculado el dedo pulgar del pie. El pulgar de la mano y el pie son oponibles a los otros dedos o pueden moverse hacia los lados. Los primates superiores tienen 32 dientes, de ellos 8 incisivos, 4 caninos, 8 (12) premolares y 12 (8) molares. Son difiodontos, es decir, tiene lugar la sustitución completa de la dentición de leche por la definitiva. Las órbitas de los ojos están dirigidas hacia delante. De ordinario los hemisferios cerebrales se encuentran muy desarrollados y presentan numerosas circunvoluciones. Los primates son frugívoros u omnívoros.

Integran el orden de los prosimios los lemúridos y los társidos.

Los lemúridos, que habitan Africa ecuatorial (Madagascar, sobre todo) y Asia meridional, son primates arborícolas, insectívoros, frugívoros u omnívoros de tamaño pequeño o regular y costumbres crepusculares o nocturnas. Tienen el cuerpo cubierto de espeso pelaje y la cola larga. Entre los lemúridos pueden citarse el Maki (*Lemur catta*) y el Aye-Aye (*Chiromys madagascariensis*).

Los társidos son animales pequeños dotados de miembros posteriores largos adaptados para realizar grandes saltos. La cola presenta una borla y los dedos unas almohadillas adherentes. En su cabeza redondeada, de tamaño grande en comparación con el cuerpo, destacan los enormes ojos y las orejas diminutas, desnudas. Habitan el Archipiélago Malayo.

Los simios se dividen en dos grupos, *platirrinos y catarrinos* (fig. 364). Los primeros, que deben su nombre a los orificios nasales ampliamente separados, habitan exclusivamente el Nuevo Mundo, América meridional. Es-

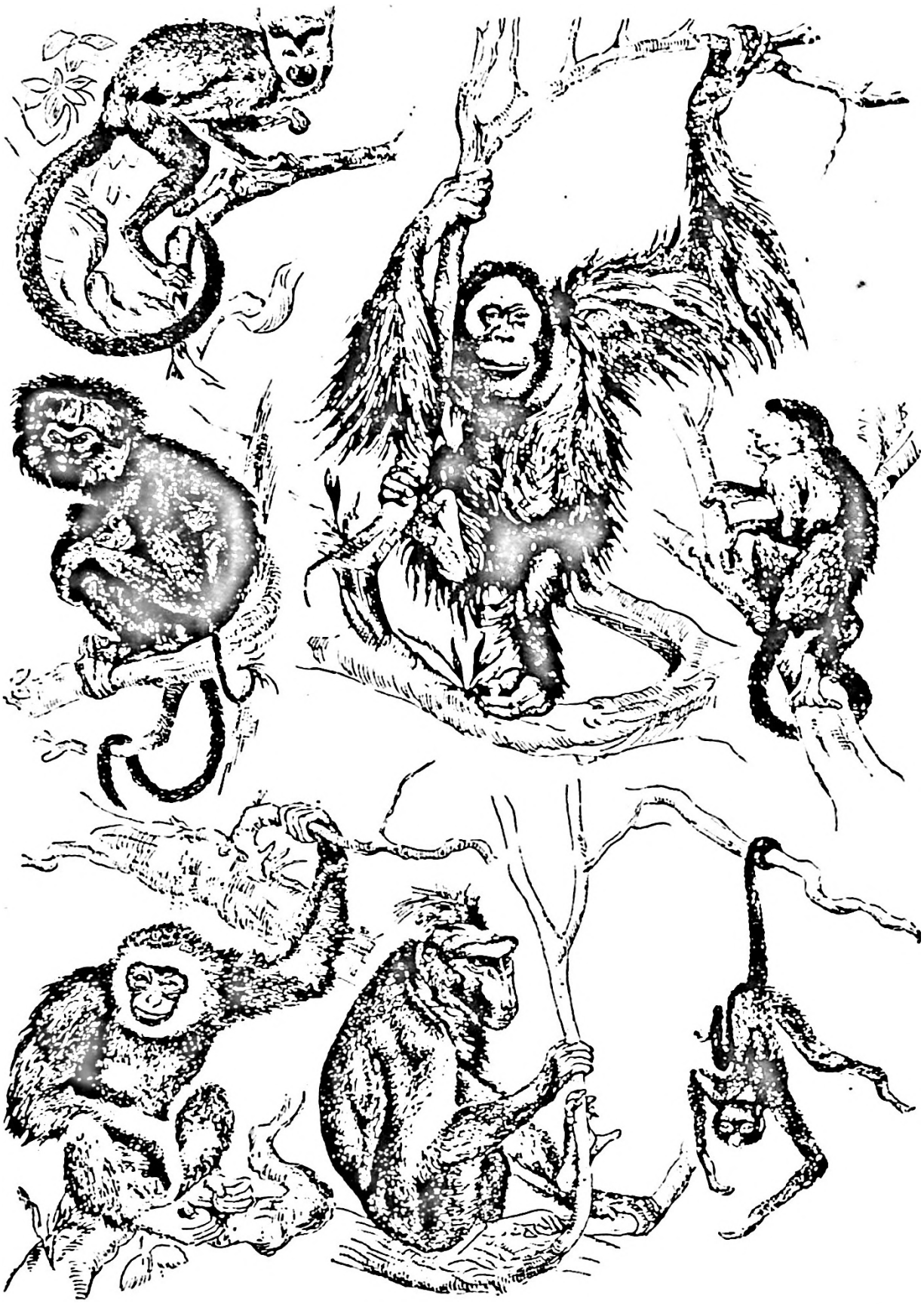


FIG. 364. Diferentes representantes de los simios.

tos monos no ofrecen un gran interés para el origen del hombre, ya que no fueron ellos sus antecesores.

Los seres humanos se incluyen en el suborden de los *catarrinos,* monos con el tabique nasal estrecho y que habitan el Viejo Mundo (Africa, sudeste de Asia y Europa meridional).

Los antropoides actuales viven en manadas o en familias. Algunos pasan la mayor parte del tiempo en los árboles; otros (los gorilas), en el suelo. Se nutren de alimentos vegetales (frutas y raíces). Al andar utilizan las cuatro extremidades, sirviéndose de las anteriores a modo de muletas. Algunos pueden mantenerse, aunque no durante largo tiempo, en posición erecta.

Rasgos de semejanza y diferencia entre el hombre y los monos antropomorfos.

Los mayores caracteres de semejanza se descubren entre el hombre y el chimpancé y, en parte, el gorila. El orangután se halla más alejado. Así lo confirman la estructura anatómica (por ejemplo, la falta de senos frontales) y una serie de características fisiológicas. En el hombre y el chimpancé, es semejante la forma de la placenta; la duración de la gestación es la misma. En los antropoides, a diferencia de los placentarios inferiores, se observan los ciclos menstruales. Sus espermatozoides ofrecen gran semejanza con los del hombre. Tanto en unos como en el otro han sido establecidos cuatro grupos de sangre, de acuerdo con las características biológicas, siendo posible la transfusión mutua (con el chimpancé). Los antropomorfos pueden contagiarse de enfermedades humanas: tifus abdominal, sífilis, que transcurren como en el hombre. Esta circunstancia, comprobada primeramente por I. I. Méchnikov, se utiliza ampliamente en la medicina experimental, ya que facilita la tarea de encontrar métodos de lucha contra algunas enfermedades. Los antropoides se distinguen, en fin, por lo complejo de su conducta individual: tienen muy desarrollada la mímica, que es semejante a la del hombre; ríen y lloran.

A pesar de los caracteres de gran semejanza entre el hombre y los simios antropomorfos, existen entre ellos diferencias muy profundas en lo que respecta a su anatomía, lo que se debe, en primer lugar, a la *posición vertical que adopta el hombre en su marcha.* Aquí es necesario recordar, ante todo, la característica *curvatura de la columna vertebral* (en forma de S), y también la forma cóncava, de cúpula, que tiene la planta del pie. Todo ello amortigua las sacudidas, inevitables al andar, suavizando su transmisión al cerebro. En relación con la marcha erecta alcanzó especial desarrollo la *musculatura de las extremidades inferiores,* que sostienen todo el cuerpo y lo trasladan en el espacio. También varió la forma de la *pelvis,* que, al mantenerse el cuerpo en posición vertical, tiene que soportar la presión que ejercen los órganos de la cavidad abdominal, sobre los huesos íleos. La pelvis del hombre es ancha, mientras que la de los animales es alargada y aplastada por los lados. También *se traslada hacia la parte anterior el agujero occipital.*

Son asimismo muy grandes las diferencias en la configuración del *pie* y de la *mano.* Los monos tienen oponible el dedo grueso del pie, lo que les permite coger objetos (pie prensil). Por eso se les llama, incorrectamen-

te, cuadrumanos. El pie humano adquiere otra forma y su disposición es algo diferente a la de los monos. El dedo grueso ya no es oponible; sin embargo, es digno de recordar que los niños pequeños tienen los dedos de los pies dotados de gran movilidad, que se pierde con la edad.

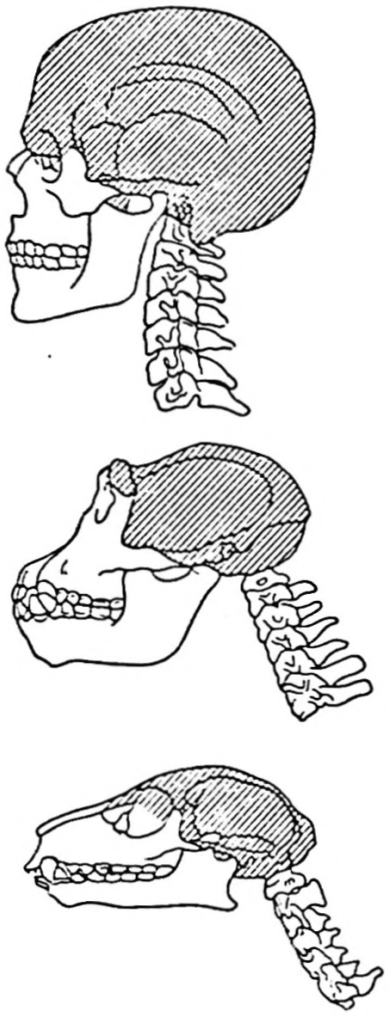


Fig. 365. Dimensiones relativas de la cavidad craneal del hombre, del chimpancé y de un prosimio.

También ha variado la forma de la mano: el gran tamaño del pulgar, la anchura de la palma, etc., están relacionados con las diferentes funciones que en el trabajo se encomienda a la mano del hombre.

El gran desarrollo de la cavidad craneal, que está relacionada con el desarrollo del cerebro, dio lugar a profundos cambios en la configuración de la *cabeza*. En los monos predomina la parte facial sobre la cerebral (cráneo propiamente dicho), mientras que en el hombre la relación es inversa (fig. 365). Las siguientes cifras podrán servir de ejemplo: tomando como 100 el cráneo, a la cara le corresponde en el hombre del 36 al 48 por ciento; en el chimpancé, del 90 al 96, y en el orangután, el 102.

En el cráneo de los monos adquiere un gran desarrollo la cresta sagital y también las elevaciones que sirven para sujetar los músculos masticadores; están muy desarrollados los arcos superciliares, diferencias anatómicas que faltan, o están acusadas muy débilmente, en el cráneo humano; por el contrario, en éste aparecen caracteres que no son propios de los monos. Por ejemplo, en el hueso temporal se desarrolla la apófisis mastoides, en la que se inserta el músculo esternocleidomastoideo, que es el flexor, inclinador y rotatorio de la cabeza y permite, por tanto, mirar hacia arriba. Los monos carecen de sínfisis mentoniana en el maxilar inferior (barbilla), por lo que éste parece estar cortado hacia atrás. En el hombre, las extremidades superiores no llegan a las rodillas, mientras que en los monos las sobrepasan.

Son bastante considerables las diferencias que existen en la conformación del *cerebro*. Da idea de ello la comparación entre el peso del cerebro humano y el de los antropoides. En el hombre, suele alcanzar por término medio 1.500 gr. (variando entre 900 y 2.000 gr.), en los antropomorfos oscila entre 400 y 600 gr., y en el gibón, entre 100 y 125 gr. (fig. 366). Pero no se trata únicamente del peso del cerebro. Lo importante es su riqueza en elementos nerviosos, que está relacionada con el desarrollo de la corteza de los hemisferios; esto se debe al desarrollo y aumento del número de circunvoluciones, tan netamente acusadas en el cerebro humano. Mientras que la superficie cerebral del chimpancé, que entre los antropomorfos es el más próximo al hombre por la mayoría de los caracteres, es igual a 325 cm^2, en el hombre alcanza una media de 1.250 cm^2.

Entre las manifestaciones más complejas del comportamiento de los mo-

nos y el pensamiento, la actividad intelectual del hombre, existen profundas diferencias *cualitativas,* cosa que demostraron palmariamente con los chimpancés I. P. Pávlov y sus colaboradores. En sus experiencias sobre los monos y el pensamiento, en relación con la actividad intelectual del hombre, existen diferentes formas; para apagar el fuego que les cerraba el cami-

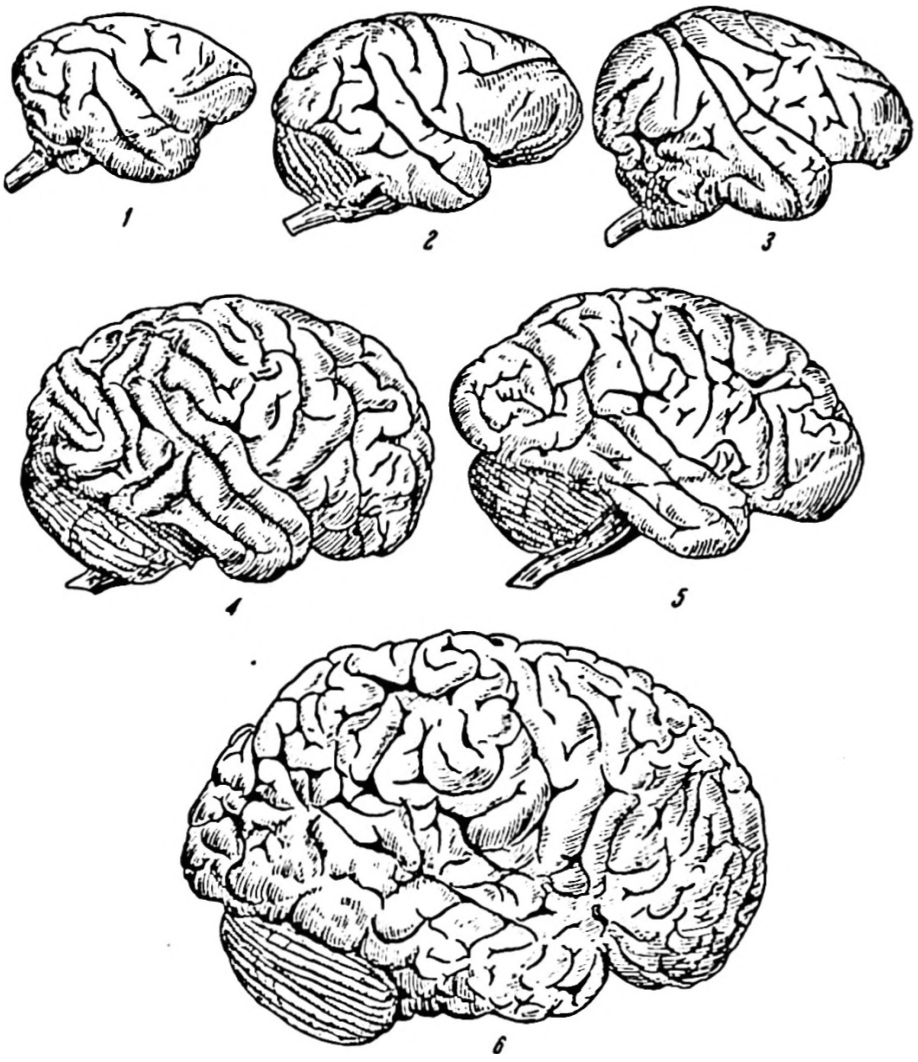


Fig. 366. Configuración del encéfalo de los monos y del hombre: 1, mono araña; 2, hamadryas; 3, gibón; 4, chimpancé; 5, orangután; 6, hombre.

no hasta la comida, etc., recorren un camino largo y complicado para obtener el agua con que apagar este fuego; pero no se les "ocurría" sacarla del estanque en el que flotaba la balsa donde se encontraban. Les son extraños los conceptos abstractos, el lenguaje articulado y otros muchos rasgos que caracterizan la psicología humana. Las investigaciones de Pávlov han demostrado la total inconsistencia de la teoría idealista del *Gestalt,* o modelo que nace supuestamente en el cerebro e ilumina de súbito la conciencia.

Es propio y exclusivo del hombre el sistema de expresión secundario, es decir, el lenguaje hablado y escrito, que los monos no pueden aprender.

Por tanto, y a pesar de los muchos caracteres semejantes que demuestran

el parentesco que hay entre el hombre y los monos y confirman el origen animal de aquél, entre él y los antropoides hay diferencias notables, que aparecieron a lo largo del proceso evolutivo.

No puede decirse que el hombre actual proceda de alguno de los simios antropomorfos de nuestros días, los gorilas, chimpancés u orangutanes. En realidad, el hombre y los antropoides tienen un antecesor común, desaparecido ya, un simio primitivo.

Antecesores fósiles del hombre.

Numerosos descubrimientos geológicos permiten restablecer, en líneas generales, la historia del origen del hombre moderno (*Homo sapiens*). Si algunos detalles de esta historia no han sido todavía esclarecidos lo suficiente, el cuadro general no puede ser más diáfano y en la actualidad no deja lugar a dudas. Los datos de la antropogénesis coinciden en que el hombre no apareció en la Tierra de súbito, sino a través de formas transitorias, que lo enlazan con organismos inferiores (fig. 367).

Los restos fósiles confirman que la rama de los primates se separó de los tupaias en el Cretácico superior. Los monos catarrinos toman su origen en los *tarsinos* (necrolemures). Los primeros antropoides aparecieron en el oligoceno (período Terciario), es decir, hace unos 35 millones de años. Se trataba de formas pequeñas, que poseían un cráneo más voluminoso que los simios inferiores. Se considera que el pariente más primitivo de los antropoides es el *Parapithecus* de Fraasov, cuyos restos fueron descubiertos en Egipto. De él procede el *Propliopithecus*, que también vivía en Egipto, pero posteriormente. Después, la evolución de los antropoides se dividió en tres ramas. Los propliothecus dieron origen, al parecer, a los gibones; de los *Paleosimios*, cuyos restos han sido encontrados en las faldas del Himalaya, proceden los orangutanes y, por último, los *Dryopithecus* son los originarios de los gorilas y chimpancés; de ellos procede también la rama originaria del hombre. Los Dryopithecus, de los que han llegado hasta nosotros fósiles, tenían caracteres intermedios entre el hombre y los antropoides, eran un tipo generalizado. En cualquiera de los casos su cráneo recuerda más la estructura del cráneo humano que, por ejemplo, el del gorila o el chimpancé. Eso confirma la idea expuesta anteriormente de que las grandes diferencias entre los antropomorfos y el hombre, que se acusan en numerosos caracteres, constituyen elementos de la especialización. La evolución de los Dryopithecus se realizó en dos direcciones. Los antropoides se acostumbraron más y más a la vida arborícola y al régimen de alimentación frugívoro, lo que se reflejó en toda su organización. El hombre siguió otros caminos. Es natural que cada uno de los descendientes de la misma forma posea más caracteres de semejanza con esta última que entre sí.

Los datos de que disponemos hoy día confirman que hubo intentos repetidos de encontrar la forma transitoria del mono al hombre. Así hemos de considerar el hallazgo del *Australopithecus* (simio meridional), numerosos restos fósiles del cual han aparecido durante los últimos años en Africa del Sur. El Australopithecus estaba representado por muchas especies, de las que se conocen: el *Australopithecus macrontus*, el *Australopithecus gigantis*, etc. Estos simios vivían en manadas y cazaban juntos, utilizando la carne de los animales a los que daban muerte. No sabían cons-

truir armas y para defenderse y atacar utilizaban piedras y otros objetos que encontraban a mano. Los Australopithecus se extinguieron sin dar origen a formas de organización más elevada.

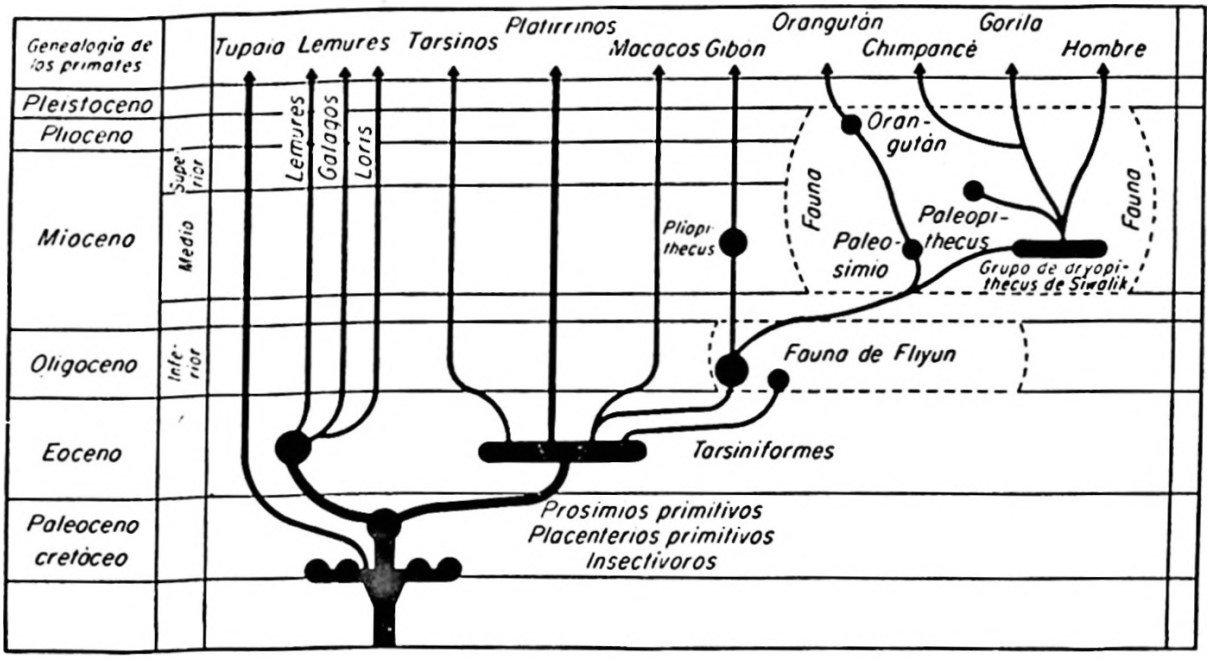


FIG. 367. Genealogía de los primates.

V. I. Lenin distinguía tres fases en el proceso de desarrollo del hombre y de su separación del reino animal: en primer lugar, los monos que tomaban palos; en segundo, las hordas primitivas (hombres primitivos) y, por último, los hombres de la sociedad gentilicia. De acuerdo con ello, la evolución humana ha pasado por las etapas de los *Pithecanthropus* y de los *Homínidos primitivos,* de los que se originaron todos los hombres actuales.

La rama de los homínidos, es decir, la familia humana, procede de los Dryopithecus. El hombre-mono más antiguo que conocemos es el *Pithecanthropus erectus,* restos del cual fueron descubiertos en 1891 en la isla de Java. Se encontró un fémur y la parte superior del cráneo, cuyo estudio detallado permite afirmar que el Pithecanthropus adoptaba al marchar la posición erecta (configuración del fémur). El volumen de su cráneo alcanzaba a 900 cm^3. Sin embargo, tenía aún más señalados los rasgos simioides: la frente estrecha e inclinada, los arcos superciliares muy desarrollados y el maxilar inferior echado hacia atrás, en el que falta la sínfisis mentoniana (fig. 368). A juzgar por la configuración del cráneo, el pitecantropo tenía poco desarrollados los senos frontales. Sus dientes eran humanos y no de mono. Mucho más tarde, en 1939, fueron hallados en Java los restos de los esqueletos de otros tres pitecantropos, y lo que es muy interesante, junto a ellos aparecieron instrumentos, verdad es que muy primitivos; por lo tanto, el pitecantropo debía utilizar ya instrumentos de trabajo.

Esta fue la primera fase de desarrollo del hombre, que se caracteriza por la marcha erecta, el aumento del volumen del cráneo, es decir, de peso del cerebro, y por último, lo que es más importante, por la fabricación de instrumentos de trabajo.

En lo que respecta a su organización, ocupa un plano algo superior el *Sinanthropus* u hombre-mono chino (*Pithecanthropus pekinensis*), cuyos restos (36 esqueletos) fueron hallados hacia 1925 en la cueva de Chou-Kou-Dian, cerca de Pekín. El volumen del cráneo del Sinanthropus era algo superior al del Pithecanthropus y alcanzaba a 1.200 cm^3. De aquí podemos

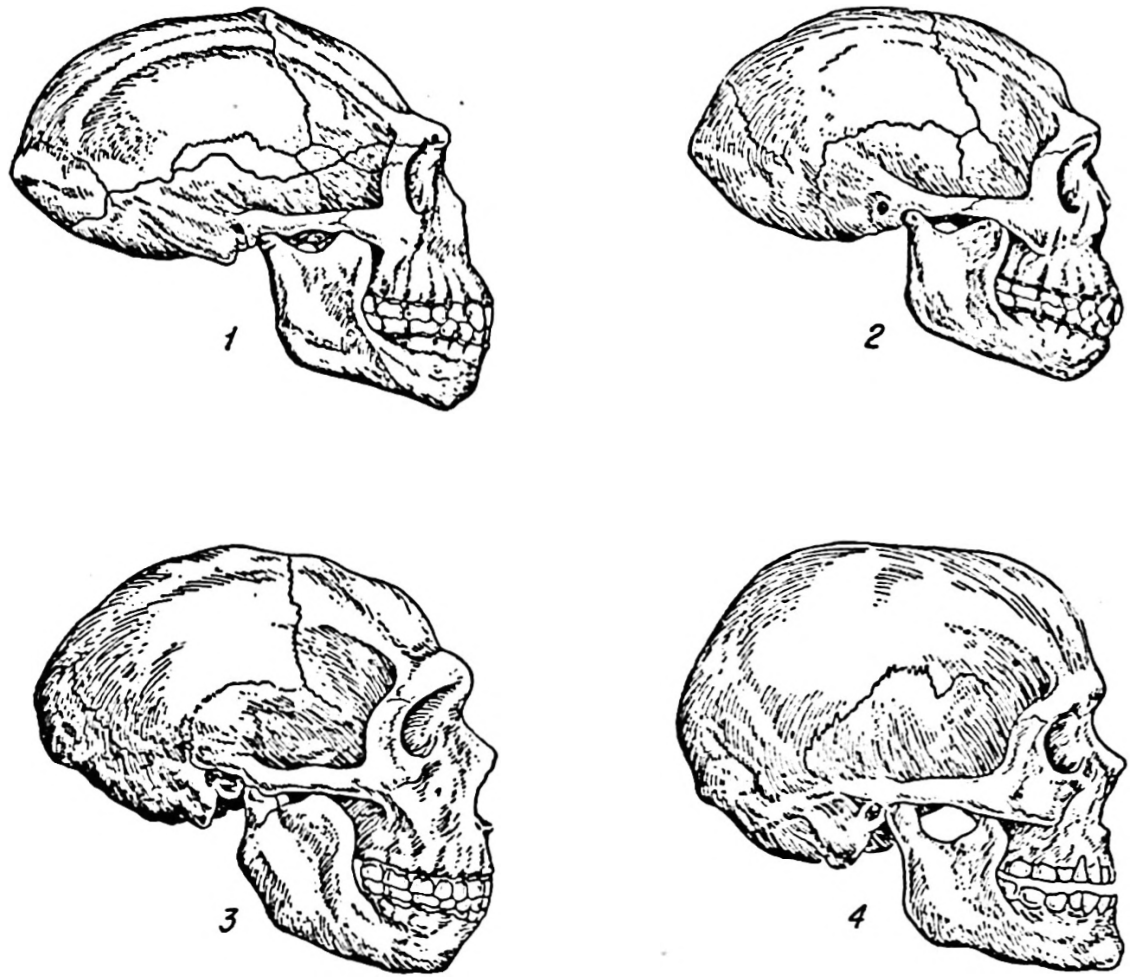


FIG. 368. Cráneos de hombres fósiles: 1, *Pithecantropus;* 2. *Sinantropus;* 3, *Homo neanderthalensis;* 4, *hombre de Cromagnon.*

deducir que su cerebro había alcanzado mayor desarrollo. En la cueva, junto a los esqueletos, aparecieron instrumentos de piedra muy primitivos, así como cenizas, señal de que el Sinanthropus sabía ya emplear el fuego.

Los pitecantropos, que aparecieron en Asia sudorienatl, se extendieron por una gran parte del territorio del Viejo Mundo. En Europa fueron encontrados los restos del llamado *Homo heidelbergensis*, de cuya organización podemos juzgar por la mandíbula inferior, que es lo único que ha llegado hasta nosotros. Hace muy poco, en 1949, han sido hallados en Africa los restos de un pitecantropo, al que se ha dado el nombre de *Talanthropus.*

Los pitecantropos vivieron hace 200.000 a 400.000 años. Fueron ellos los que dieron comienzo a la segunda fase del desarrollo humano —los hombres primitivos—, al *Homo neanderthalensis.* Hombres también primitivos (*Homo primigenius*) vivieron aproximadamente 100.000 años antes de

nuestra época. Sus restos han sido encontrados en diferentes lugares de Africa, Asia y Europa. También vivieron en le territorio de la U. R. S. S. Esqueletos de hombres de Neanderthal han sido descubiertos en Crimea (gruta de Kiik-Koba) y en Uzbekistán (cueva de Teshik-Tash).

La organización de los habitantes de Kiik-Koba (hombres prehistóricos de Crimea) ha sido estudiada con mucho detalle por los antropólogos soviéticos.

A juzgar por el tamaño del fémur, los hombres de Neanderthal eran de estatura elevada. El volumen de su cráneo alcanzaba a 1.400 cm^3, es decir, que se aproximaba en este sentido al del hombre actual. Sin embargo, en la configuración del cráneo están aún acusados claramente los caracteres primitivos: la parte inferior de la cara muy prominente, la frente estrecha e inclinada y los arcos superciliares muy salientes. En la mayoría de los casos tenían el mentón muy echado hacia atrás. Los hombres de Neanderthal fabricaban instrumentos de piedra y hueso, se construían viviendas, utilizaban para cubrirse las pieles de los animales y se dedicaban a la caza y la pesca. Vivieron en las duras condiciones del período glaciar.

Del *Homo neanderthalensis* proceden los hombres actuales, que pertenecen a la especie de *Homo sapiens*, es decir, del hombre racional. Los racistas han tratado d demostrar por todos los medios que cada una de las razas humanas actuales procede de antecesores diferentes: los representante de la raza mogola del Sinanthropus; los negros, del Australopithecus; los australianos, del Pitecanthropus: los europeos, del *Homo neanderthalensis*, etc.

Sin embargo, los datos de que dispone hoy día la ciencia demuestran sin lugar a dudas la monogénesis, es decir, la procedencia de todos los hombres, independientemente de su raza, de los hombres primitivos, que estaban muy extendidos en tiempos pretéritos por todo el territorio del Viejo Mundo.

De los restos fósiles del tipo humano actual conocemos el *Hombre de Cromagnon*, que poseía ya una cultura bastante elevada. Las paredes de las cavernas habitadas por estos hombres están cubiertas de pinturas que representan en forma primitiva, pero con gran maestría, animales y objetos que les eran familiares. Los hombres de Cromagnon conocieron una vida de durísima lucha con la naturaleza, de calamidades y privaciones, y su sociedad primitiva estaba muy lejos del paraíso que a veces describen los reaccionarios, que invitan a volver a los tiempos de Adán. "Detrás de nosotros no hubo ningún siglo de oro, y el hombre primitivo estaba completamente abrumado por las dificultades de su existencia y de su lucha con la naturaleza."[1] Ese siglo de oro está por venir y llegará con el comunismo.

Papel del trabajo en la transformación del mono en hombre.

La importancia del trabajo en la formación del hombre fue enfocada por vez primera con criterio científico en el artículo de Engels (no terminado, por desgracia) *El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre* (1876). Las tesis de Engels han sido confirmadas más tarde por los descubrimientos arqueológicos y paleontológicos.

[1] V. I. Lenin, *Obras*, 4ª ed., t. V, pág. 95.

A fines del Terciario o comienzos del Cuaternario, debido al cambio de clima y a la disminución de la zona de bosques , los *Dryopithecus* tuvieron que abandonar su modo arborícola de vida, descender al suelo y marchar apoyándose en las extremidades posteriores. Las *extremidades anteriores,* que hasta entonces les servían para la locomoción, *quedaron libres para otras funciones.* Este proceso de transformación funcional de las extremidades anteriores avanzó a medida que se progresaba en los procesos de trabajo. A continuación del cambio de las extremidades anteriores, que se transformaron, en última instancia, en brazos y en manos, varió toda la organización del hombre en formación. El centro de gravedad del cuerpo se trasladó a la región de las extremidades posteriores, y, al mismo tiempo, varió la posición de los órganos internos. El trabajo dio lugar a un mayor desarrollo del cerebro y a una mayor complejidad de la actividad psíquica. Por tanto, todo lo que distingue al hombre del animal lo debe al trabajo. "El trabajo es la fuente de toda riqueza —afirman los especialistas en economía política— y lo es en realidad junto con la naturaleza, que le proporciona los materiales que él transforma en riqueza. Pero el trabajo es algo infinitamente más que eso. Es la primera y principal condición de toda la vida humana, y hasta tal grado es así, que en cierto sentido hemos de decir: el trabajo creó al hombre"[1].

Gracias a la fabricación y al empleo de instrumentos de trabajo se perfeccionó la mano, este extraordinario órgano que es capaz de dar vida a la música de Glinka, a los cuadros de Repin y a las estatuas de Kozlovski. "La mano —señala Engels— no es sólo, por tanto, el órgano del trabajo, *sino también producto suyo.*"[2]

El trabajo hizo que los hombres entablaran relaciones cada vez más estrechas: "...sintieron la *necesidad de decirse algo unos a otros.*"[3] Ello dio origen al lenguaje articulado. La necesidad creó el órgano.

El desarrollo del cerebro influyó por su parte en los procesos de trabajo y en el lenguaje, dando lugar a su ulterior perfeccionamiento.

También contribuyó en cierto grado a la transformación del mono en hombre la *alimentación carnívora,* que es más nutritiva, a causa de lo cual el cerebro recibió mayor cantidad de sustancias. El empleo de la carne en la alimentación dio lugar, por un lado, a la utilización del fuego, y por otro a la domesticación de los animales. La preparación de la comida con ayuda del fuego redujo el proceso digestivo, puesto que el organismo recibía alimentos que estaban ya medio transformados. Los músculos que mueven los maxilares perdieron fuerza, propiciando así el aumento del cráneo y la disminución de la cara. En posesión del fuego, el hombre pudo extenderse más y más y acomodarse a toda clase de condiciones climatológicas.

El trabajo dio lugar a la *formación de la sociedad.* Se hizo más variado y perfecto. A la caza y la cría de ganado se añadió la agricultura; después aprendió el hombre a tejer y a forjar el metal. Los instrumentos de piedra fueron poco a poco sustituidos por los de bronce y hierro; apareció la diferenciación del trabajo entre las personas que se dedicaban a la cría de ganado, la agricultura y las industrias. La comunidad primitiva, en la que el trabajo en común llevaba consigo la propiedad también común de los medios de producción y de los productos, cedió el paso a la sociedad esclavis-

[1] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza,* 1952, pág. 132.
[2] Ibídem, pág. 133.
[3] Ibídem, pág. 134.

ta, dividida en clases de explotados y explotadores. Después, con el desarrollo de las fuerzas productivas, a consecuencia de las contradicciones de clase y de la lucha de clases, el régimen esclavista fue sustituido por el feudalismo y este último por el sistema capitalista. El capitalismo engendró también su sepulturero, la clase obrera.

Como indicaba Engels, el trabajo comenzó con la fabricación de armas. Los monos utilizaban a veces para su defensa las ramas de los árboles, son capaces de lanzar piedras, frutos, etc. A ese fin recurren, en la mayoría de los casos, a las extremidades anteriores. Por tanto, en los monos existe ya una cierta diferenciación de funciones entre las extremidades anteriores y las posteriores. Pero solamente el hombre utiliza de manera sistemática los instrumentos de trabajo y los fabrica. El trabajo engendró al hombre, convirtiéndolo en "el prodigio y la gloria del mundo" (Darwin).

Cuando el mono se transformó en ser humano, dejaron de actuar la selección natural y otros factores que dirigen la evolución de los animales. Así lo advirtió K. A. Timiriázev, al decir que la selección natural se detiene en el umbral de la historia humana. En la sociedad humana salen a escena otras fuerzas motrices.

El origen animal no empequeñece al hombre; todo lo contrario, lo eleva, ya que su nacimiento (como hombre) se lo debe únicamente a sí mismo, a su trabajo. Y nosotros, cuando volvemos la vista hacia la historia de nuestro origen, podemos decir con Gorki: "¡Qué sensación de orgullo nos produce la palabra hombre!"

Crítica de las teorías racistas.

Por encargo de sus amos capitalistas, que tratan de justificar así su política, los oscurantistas infiltrados en el campo de la ciencia no cesan de urdir diferentes teorías racistas, que se basan todas en el mismo estribillo: existen razas de señores y de esclavos, razas de explotadores y de explotados. Para fundamentar su punto de vista recurren a falsas teorías, y en primer lugar a las teorías autogenéticas y al maltusianismo (véase pág. 461). El gran cúmulo de datos reunidos sobre la estructura del hombre y su origen demuestra claramente la falsedad de las teorías racistas.

Entre las razas no existen diferencias permanentes ni esenciales. Todos los individuos que pueblan la tierra pertenecen a la misma especie de *Homo sapiens*. Las diferencias secundarias que se observan entre las razas humanas, como es el color de la piel y la forma de la nariz, no son en modo alguno permanentes e invariables. Los intentos de relacionar el atraso cultural de algunos pueblos con los datos antropológicos, por ejemplo, con la forma del cráneo, fueron desmentidos ya hace tiempo y, en primer lugar, gracias a los trabajos del famoso viajero ruso N. N. Miklujo-Majlai. El factor climatológico ha ayudado en parte a diferenciar los llamados rasgos raciales. En particular, la pigmentación de la piel, que se observa en una serie de pueblos meridionales, es una característica que fijó la herencia, adquirida bajo el predominio de la zona ultravioleta de los rayos solares en la región tropical del globo. El atraso cultural de algunas tribus y de ciertos pueblos lo explica no su calidad racial "inferior", sino las condiciones histórico-sociales, que frenaron su progreso. El marxismo-leninismo enseña que la conciencia de los hombres está determinada por sus condiciones materia-

les de vida, y no por diferencias biológicas secundarias agrupadas en los caracteres raciales.

La prueba más rotunda de la falsedad de cualquier lucubración acerca de la inferioridad racial la ofrece la construcción del socialismo en la multinacional Unión Soviética. Los atrasados pueblos coloniales y semicoloniales de los confines de la Rusia zarista participan hoy con éxito, independientemente de la raza a que pertenezcan, en la construcción de la sociedad comunista. Han desarrollado una cultura propia elevada, nacional por la forma y socialista por el contenido.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del método triple de investigación filogenética (anatómico-comparado, embriológico y paleontológico) permite establecer el parentesco entre diferentes grupos sistemáticos y ayuda a estudiar la filogenia del reino animal y a establecer el carácter monofílico de la evolución.
2. El origen animal del hombre lo confirman los caracteres de organización animal de su cuerpo.
3. En la formación del hombre se distinguen los factores biológicos y sociales; estos últimos desempeñan el papel decisivo. El aspecto biológico del origen del hombre fue estudiado por Darwin; el social, por Engels.
4. Para comprender el proceso de la formación del hombre es necesario prestar gran atención a las características anatómicas de su organización, relacionadas con el desarrollo de su marcha erecta y con las modificaciones en la configuración del cráneo y en el tamaño del cerebro.
5. La historia del origen del hombre actual podemos reconstruirla, en líneas generales, por sus antecesores fósiles y por los restos de los instrumentos de trabajo.
6. El factor principal de la transformación del mono en hombre es, como señaló Engels, el trabajo.
7. Todos los pueblos que habitan la Tierra constituyen una especie. La igualdad de las razas humanas se demuestra por la existencia de la multinacional Unión Soviética, donde todos los pueblos, independientemente de la raza a que pertenezcan, han adquirido una elevada cultura y participan de igual forma en la construcción de la sociedad comunista.

Este libro, publicado por la Editorial Grijalbo, S. A. avenida Granjas, 82, México, 16, D. F., acabóse de imprimir el día 15 de julio de 1964 en la imprenta Editorial Muñoz, S. A., privada del Doctor Márquez, 82. México 7, D. F. En su confección se utilizaron tipos Baskerville y se empleó papel Ilustración blanco de fabricación especial.

Ejemplares, 4.000.

Fecha de edición: 30 de julio de' 1964.